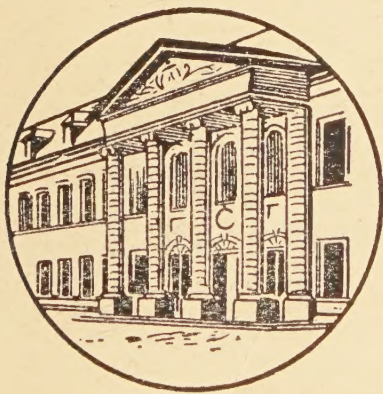


INSTITUT AGRONOMIQUE DE L'ETAT A GEMBLOUX

Tome XXIII, n° 2.

1955

BULLETIN
DE
L'INSTITUT AGRONOMIQUE
ET DES
STATIONS DE RECHERCHES
DE
GEMBLOUX



IMPRIMERIE G. I. C.
61, Av. de la Liberté, 61
BRUXELLES



Sommaire

DAGNELIE, P. — Les sols forestiers de l'Ardenne. Analyse statistique complémentaire. Application de tests non-paramétriques	107
DESCHREIDER, A. R. et RENARD, M. — Influence des rayons ultra-violetes sur le spectre d'absorption du l-tryptophane	151
GOFFINET, A. — Quelques considérations sur le dosage du magnésium par la méthode au jaune thiazol	166
LECRENIER, A., TRZCINSKI, T. et DERMINE, E. — Recherche de l'influence de doses croissantes du même équilibre nutritif sur la composition minérale de divers organes du pommier, au cours d'un essai en plein champ.	176
MANIL, P. — Microbiologie et amélioration du sol	195
TONNARD, V. — La phytosociologie sur Saint-Michel	213
DEMORTIER, G. — Observations météorologiques de l'année 1954	225
Livres reçus	235

Les articles sont publiés sous la seule responsabilité de leurs auteurs.

Le *Bulletin de l'Institut Agronomique et des Stations de Recherches de Gembloux* paraît normalement quatre fois par an.

Le prix de l'abonnement est de 175 francs par an, somme à verser au compte de chèques postaux n° 7621.08 du Bulletin de l'Institut Agronomique de Gembloux (Belgique) ou à payer par mandat postal.

Prix du présent numéro : 70 francs. Pour la commande, prière de s'adresser au Secrétariat du *Bulletin*.

a) Le Bulletin sera envoyé en échange des publications similaires des Etablissements d'Enseignement Supérieur, des publications périodiques des Sociétés scientifiques et des Revues Scientifiques en général.

b) Tout ouvrage scientifique dont un exemplaire est adressé à la Rédaction, sera signalé sous la rubrique « Livres reçus ».

Toute reproduction des articles parus dans le Bulletin est strictement interdite sans autorisation du Comité de Rédaction.

INSTITUT AGRONOMIQUE DE L'ETAT A GEMBOLOUX

Tome XXIII, n° 2.

1955

BULLETIN
DE
L'INSTITUT AGRONOMIQUE
ET DES
STATIONS DE RECHERCHES
DE
GEMBOLOUX



IMPRIMERIE G. I. C.
61, Av. de la Liberté, 61
BRUXELLES



Digitized by the Internet Archive
in 2025

PEDOLOGIE ET STATISTIQUE

Les sols forestiers de l'Ardenne

Analyse statistique complémentaire Application de tests non-paramétriques

par

Pierre DAGNELIE

Plan

Introduction.

PREMIERE PARTIE : Commentaire d'une étude précédente.

- A. Etude de la validité de la fusion des résultats analytiques obtenus dans les horizons supérieurs.
- B. Considérations sur les possibilités d'application des tests statistiques paramétriques et non-paramétriques à l'étude pédologique en cause.
- C. Considérations sur l'échantillonnage pédologique.

DEUXIEME PARTIE : Etude de la variabilité des résultats analytiques.

- A. Moyennes et variances des résultats analytiques.
- B. Variabilité des résultats des différentes stations et des différents horizons.
- C. Variabilité des résultats des différentes analyses.
- D. Relation entre le nombre de déterminations et la précision.
- E. Résumé et conclusions.

TROISIEME PARTIE : Nouvelles applications de tests statistiques à des problèmes pédologiques.

- A. Etude des variations interstations du rapport C/N.
- B. Etude des variations interstations des fractions granulométriques fines.
- C. Recherche d'une liaison stochastique entre les fractions granulométriques fines et l'acidité, dans les horizons minéraux.

Conclusions générales.

Bibliographie.

Introduction

Le présent travail est destiné à compléter l'importante étude entreprise antérieurement par MM. G. MANIL, E. COLLIN, R. EVRARD et R. GRUBER, et publiée dans la même revue (12). Monsieur MANIL et ses collaborateurs ont analysé quelques caractères physiques, chimiques et physico-chimiques des sols de quatre stations de la forêt ardennaise. Monsieur L. MARTIN a dirigé la première interprétation statistique des résultats des analyses pédologiques.

Nous avons repris l'ensemble des données, en nous fixant comme but :

1. De préciser certaines conclusions mises en évidence lors de la *Première étude* ;

2. D'étendre celle-ci en envisageant quelques nouveaux aspects.

Nous exprimons nos remerciements à Monsieur le Professeur G. MANIL et à Monsieur R. EVRARD, Assistant à la chaire de Sylviculture, qui ont eu l'amabilité de nous communiquer la documentation et qui nous ont fréquemment aidé par leurs conseils et leurs explications. Toute notre gratitude va également à Monsieur le Professeur J. TICHEM et à Monsieur P. DE MUNTER, Assistant à la Chaire de Mathématiques, qui ont contrôlé l'application des méthodes statistiques.

LES DONNEES

a) Les quatre stations situées dans le Domaine de Saint-Michel (Plateau de Saint-Hubert) ont été décrites dans la *Première étude* (12)*. Voici, rapidement esquissés, leurs caractères principaux :

Station I : Hêtraie à fétuque, de pente (versant frais).

Croissance et état sanitaire excellents.

Sol brun forestier acide peu développé, à drainage normal.

Station II : Hêtraie à fétuque, de plateau (à *Deschampsia caespitosa* et *Carex remota*).

Arbres moins vigoureux.

Sol brun forestier acide très faiblement développé, à drainage assez lent.

Station III : Hêtraie à myrtille, de pente (versant sec).

Croissance déprimée.

Sol brun ocreux (13), à drainage normal; présence d'un A_0 net.

Station IV : Bouquet d'épicéas situé au bord d'une petite fange (situation de plateau).

Sol très variable, comprenant le gley-podzol tourbeux, le podzol et le sol brun plus ou moins podzolique; présence générale d'un A_0 .

(*) Les nombres entre parenthèses renvoient à la bibliographie.

b) Dans chacune des stations, dix profils ont été creusés, et des échantillons prélevés pour les différents horizons observés dans chaque profil.

Station I : 4 horizons (H_1 , H_2 , H_3 , H_4) dans les profils 1 à 7, et 3 horizons (H_s , H_3 , H_4) dans les profils 8 à 10.

Station II : 3 horizons (H_s , H_3 , H_4) dans chacun des 10 profils.

Station III : 3 à 5 horizons : H_3 et H_4 dans tous les cas ; H_1 , H_2 et b ou H_{1+2} et b ou H_1 et H_{2+b} ou H_{1+2+b} , suivant les profils.

Station IV : 4 horizons (H_1 , H_2 , H_3 , H_4) dans chacun des profils.

c) Chaque échantillon a subi les analyses suivantes :

Analyse granulométrique.

Mesures de pH : pH dans l'eau,
pH dans KCl N,
pH dans CaAc_2 .

Hydrogène échangeable.

Carbone total.

Azote total.

Humus peptisable et précipitable.

Capacité totale de sorption.

Nous n'avons pas envisagé les résultats de ces deux dernières analyses, qui n'intéressent que certains horizons.

PREMIERE PARTIE

COMMENTAIRE D'UNE ETUDE PRECEDENTE

A. — Etude de la validité de la fusion des résultats analytiques obtenus dans les horizons supérieurs

Au cours du travail effectué sur le terrain, les pédologues ont observé des variations considérables de l'épaisseur des horizons 1 et 2 (et b), non seulement d'une station à l'autre, mais aussi à l'intérieur d'une même station, d'un profil à l'autre. Dans certains cas, il a même paru impossible de prélever pour chaque horizon un échantillon distinct, et il a fallu grouper deux ou plusieurs horizons en un seul, selon les données de l'observation [Cf. (12), pp. 48-49 et 115]. Nous avons rappelé ci-dessus la liste des échantillons prélevés dans les différents profils.

Ultérieurement, pour trouver un terme de comparaison entre stations, les auteurs de la *Première étude* ont été forcés de confondre sous une même dénomination, *horizons supérieurs*, les résultats des déter-

minations relatives aux horizons 1, 2 et b, dans chacune des stations. Cette fusion paraissait d'autant plus logique que les horizons 1 et 2 constituent en fait une même entité pédologique, l'horizon A₁ [Cf. (12), pp. 47-48].

Nous avons voulu vérifier si cette méthode de travail, imposée par les conditions pratiques de l'expérimentation, était applicable sans altérer la valeur des conclusions mises en évidence par l'analyse statistique. Dans ce but, les horizons supérieurs ont été comparés entre eux et l'horizon 3 a été comparé à l'horizon immédiatement supérieur (H₂ ou b). Nous avons ensuite étudié séparément les données de H₁ et H₂, dans la station IV (seule station dont les données soient complètes).

1. — COMPARAISON DES HORIZONS SUPERIEURS ENTRE EUX ET DE L'HORIZON 3 A L'HORIZON IMMEDIATEMENT SUPERIEUR.

1. — METHODE

La méthode appliquée est une méthode non-paramétrique (*), correspondant au test-t de Student par paires (15).

Soient $\begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \end{pmatrix}, \dots, \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \end{pmatrix}, \dots, \begin{pmatrix} x_n \\ y_n \end{pmatrix},$

n couples de valeurs comparables entre elles. Par exemple, la valeur x_i , résultat obtenu dans l'horizon 1 du profil i, est comparable directement à la valeur y_i obtenue dans l'horizon 2 du même profil.

Soit u le nombre de fois que $x_i > y_i$. La variable u a une distribution binomiale, et il est possible de calculer les probabilités cumulées correspondant aux différentes valeurs de u, probabilités à comparer au seuil de signification.

La valeur moyenne de u est égale à $n/2$ lorsque les distributions de x et de y sont identiques : dans ce cas en effet, l'événement $x_i > y_i$ a autant de chances de se produire que l'événement $x_i < y_i$. La valeur observée de u sera d'autant plus grande que x_i est plus souvent supérieur à y_i , c'est-à-dire que la différence entre x_i et y_i est en moyenne plus grande. Le même raisonnement peut être tenu pour $x_i < y_i$.

2. — APPLICATION DE LA METHODE

a. Comparaison des horizons supérieurs entre eux.

Station I : La comparaison s'étend aux profils 1 à 7.

Station II : Il n'y a pas de comparaison possible, un seul échantillon ayant chaque fois été prélevé dans les horizons organo-minéraux.

(*) Les tests non-paramétriques seront définis ultérieurement, (p. 118).

Station III : Pour la même raison, le profil 5 ne peut intervenir dans la comparaison. Pour les profils comportant des données pour les 3 horizons supérieurs, l'horizon 1 est comparé à l'horizon b. Pour les autres profils, les 2 valeurs existantes sont comparées entre elles.

Station IV : La comparaison s'étend aux 10 profils.

b. Comparaison de l'horizon 3 à l'horizon immédiatement supérieur.

Pour rester en accord avec les comparaisons décrites ci-dessus, il n'a pas été tenu compte des profils 8 à 10 de la station I et du profil 5 de la station III.

3. — RESULTATS

Le tableau 1 présente les résultats obtenus. On a, conventionnellement :

- (1-2) == différence entre horizons supérieurs ;
- (2-3) == différence entre H_3 et l'horizon
immédiatement supérieur ;
- == différence non significative, au seuil 5 % ;
- x == différence significative (seuil 5 %) ;
- xx == différence hautement significative (seuil 1 %) ;
- xxx == différence très hautement significative (seuil 0,1 %).

Les résultats trop peu complets de l'analyse granulométrique ne se prêtent pas à une étude analogue.

Soulignons aussi le fait que le nombre de comparaisons effectuées (n), et donc la précision de la méthode appliquée, varient d'une station à l'autre : par exemple, le test ne peut mettre en évidence des différences très hautement significatives pour des effectifs inférieurs à 10 (Stations I et III).

1°. Les trois formes de pH montrent, dans la station III (sauf pour le pH à l'eau) et dans la station IV, une tendance à l'élévation du pH en profondeur, aussi bien au sein des horizons organo-minéraux que lorsque l'on passe de ceux-ci à l'horizon 3.

2°. Une diminution hautement significative de l'hydrogène échangeable, du carbone et de l'azote, en profondeur, est mise en évidence dans les trois stations étudiées.

3°. Le test utilisé ne permet pas de prouver la signification d'une différence du rapport C/N au sein des horizons supérieurs. D'autres méthodes, plus efficaces, pourraient être utilisées. Le test de Wilcoxon (3) a été appliqué aux données des stations I et IV : il montre que, dans la station IV, le rapport C/N de l'horizon 2 est supérieur à celui de l'horizon 1.

TABLEAU 1.

Seuils de signification des différences entre les horizons supérieurs (1-2) et entre les horizons 2 (ou b) et 3.

Stations		I	III	IV
n		7	9	10
pH.H ₂ O	(1-2)	—	—	x
	(2-3)	xx	xx	xxx
pH.KCl	(1-2)	—	xx	xxx
	(2-3)	xx	x	xxx
pH.CaAc ₂	(1-2)	—	xx	x
	(2-3)	—	x	x
Hydrogène échangeable	(1-2)	xx	xx	xxx
	(2-3)	xx	xx	xxx
Carbone	(1-2)	xx	xx	xxx
	(2-3)	xx	xx	xxx
Azote	(1-2)	xx	xx	xxx
	(2-3)	xx	xx	xxx
C/N	(1-2)	—	—	—
	(2-3)	xx	xx	x

4. — CONCLUSIONS

Dans l'ensemble, et plus particulièrement aux points de vue de l'hydrogène échangeable, du carbone et de l'azote, l'horizon 2 (ou b) constitue un intermédiaire nettement différencié des horizons voisins (H₁ et H₃). Des différences apparaissent bien que ces horizons ne soient pas toujours morphologiquement distincts (stations I et III).

Ces résultats soulignent la continuité des phénomènes pédologiques au sein d'un même horizon, et notamment la diminution progressive de l'activité biologique en profondeur (C, N, hydrogène échangeable). Ils mettent également en évidence l'existence dans l'ensemble du profil d'une évolution continue, s'opérant probablement suivant une loi plus irrégulière.

II. — ETUDE SEPARÉE DES DONNÉES RELATIVES AUX HORIZONS 1 ET 2 DE LA STATION IV

1. — METHODE

Pour les différentes déterminations analytiques, nous avons calculé les variances totales relatives à l'ensemble des horizons supérieurs d'une part, à chacun des horizons 1 et 2 pris séparément d'autre part. L'estimation de la variance est définie par la relation suivante :

$\sigma_x^2 = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$ dans laquelle $\bar{x}$ est la moyenne des x_i et n l'effectif de l'échantillon ($x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$).

De plus, la variance moyenne des horizons 1 et 2 a été calculée, d'après la relation $\sigma_m^2 = \frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}{2}$, les effectifs des deux échantillons étant égaux.

Nous comparons les variances σ_1^2 et σ_2^2 par le test-F de Fisher. Une différence significative existe entre les deux variances lorsque $\frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} > F_0$, σ_1^2 étant supérieur à σ_2^2 . La valeur F_0 est donnée dans les tables en fonction des effectifs n_1 et n_2 et du seuil de signification choisi. (17) (20)

Quelques remarques sur les conditions d'application de ce test seront formulées page 118.

TABLEAU 2.

Valeurs estimées des variances des horizons supérieurs de la station IV.

Variances	σ_t^2	σ_1^2	σ_2^2	σ_m^2
Degrés de lib.	19	9	9	18
pH.H ₂ O	0.0315	0.0326	0.0111	0.0219
pH.KCl	0.0192	0.0109	0.0108	0.0109
pH.CaAc ₂	0.0325	0.0219	0.0098	0.0158
Hydr. échang.	208.07	191.59	39.46	115.52
Carbone	42.5707	31.5213	0.7658	16.1436
Azote	18.9939	12.4177	0.6490	6.5333
C/N	5.9116	1.9583	7.0050	4.4817

TABLEAU 3.

Rapport des variances et seuils de signification dans les horizons supérieurs de la station IV.

Rapports	$\frac{\sigma_t^2}{\sigma_1^2}$	$\frac{\sigma_t^2}{\sigma_2^2}$	$\frac{\sigma_t^2}{\sigma_m^2}$	$\frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}$
pH.H ₂ O	0.97	2.84	1.14	2.94 —
pH.KCl	1.76	1.78	1.76	1.01 —
pH.CaAc ₂	1.48	3.32	2.06	2.23 —
Hydr. échang.	1.09	5.27	1.80	4.86 x
Carbone	1.35	55.59	2.64	41.16 xxx
Azote	1.53	29.27	2.91	19.13 xxx
C/N	3.02	0.84	1.32	0.28 —

2. — RESULTATS

Le tableau 2 donne les estimations des variances et leur nombre de degrés de liberté :

- 1^{re} colonne : variance totale des horizons supérieurs (σ_t^2) ;
- 2^{me} colonne : variance de l'horizon 1 (σ_1^2) ;
- 3^{me} colonne : variance de l'horizon 2 (σ_2^2) ;
- 4^{me} colonne : variance moyenne des horizons supérieurs (σ_m^2).

Le tableau 3 renseigne les valeurs des rapports étudiés et le niveau de signification du rapport σ_1^2/σ_2^2 .

- 1^{re} colonne : rapport de la variance totale à la variance de l'horizon 1 ;
- 2^{me} colonne : rapport de la variance totale à la variance de l'horizon 2 ;
- 3^{me} colonne : rapport de la variance totale à la variance moyenne ;
- 4^{me} colonne : rapport de la variance de l'horizon 1 à la variance de l'horizon 2.

Les signes conventionnels sont ceux de la page 111.

Le test-F ne peut être appliqué aux comparaisons de variances des colonnes 1 à 3, les estimations de σ_m^2 , σ_1^2 et σ_2^2 n'étant pas indépendantes de celles de σ_t^2 .

3. — CONCLUSIONS

1°. Pour l'hydrogène échangeable, le carbone et l'azote, les échantillons extraits des horizons supérieurs (H_1 et H_2) sont de variances significativement différentes.

2°. Pour toutes les analyses envisagées, le rapport de la variance totale à la variance moyenne est supérieur à 1. La fusion des déterminations des horizons supérieurs correspond donc à une augmentation de la variance entre profils (variance résiduelle des analyses de variance effectuées antérieurement), c'est-à-dire aussi à une diminution de la précision de ces analyses de variance.

III. — RESUME ET CONCLUSIONS

1° Les tableaux reproduits ci-dessus montrent l'existence de différences :

a) entre les moyennes des horizons supérieurs comparés entre eux et les moyennes de l'horizon 3 et de l'horizon immédiatement supérieur (Tableau 1) :

b) entre les variances des horizons supérieurs confondus en un seul échantillon ou pris séparément, pour la station IV uniquement (Tableaux 2 et 3).

2° On peut valablement supposer que l'horizon 2 (ou b), lorsqu'il existe, est un intermédiaire bien caractérisé entre les horizons 1 et 3, tant au point de vue des valeurs atteintes par les résultats analytiques qu'au point de vue de leur variabilité.

3° La fusion d'échantillons distincts peut diminuer la précision des méthodes statistiques employées (analyse de la variance, par exemple).

4° L'influence de cette fusion sur l'applicabilité des tests statistiques classiques devra être envisagée (Cf. p. 117).

5° Le rapport C/N, une des valeurs caractérisant le type d'humification, varie relativement moins d'un horizon à l'autre que les autres caractéristiques de la matière organique, et se présente, de ce fait, comme un excellent critère de différenciation des stations.

6° Les différences entre horizons supérieurs sont mieux marquées dans les stations III et IV, où, du fait de la dégradation, les horizons superficiels s'écartent fortement et à de nombreux points de vue des horizons profonds, moins modifiés. Pour la même raison, et aussi en

fonction de l'étude de la variabilité du milieu édaphique (Deuxième partie), on peut supposer que les différences de variance renseignées pour la station IV sont supérieures aux différences correspondantes que l'on pourrait trouver dans les stations moins dégradées. Dès le début du travail, la station IV s'est en effet montrée très hétérogène [Cf. (12), p. 48]; de plus, des calculs analogues à ceux des tableaux 1 et 2, effectués pour les profils 1 à 7 de la station 1, ont confirmé cette façon de voir.

B. — Considérations sur les possibilités d'application des tests statistiques paramétriques et non-paramétriques à l'étude pédologique en cause

I. — APPLICABILITE DES TESTS STATISTIQUES CLASSIQUES

Les tests statistiques classiques (paramétriques) sont basés sur certaines hypothèses relatives aux distributions des populations étudiées ; par exemple, pour l'analyse de la variance :

- a) normalité des distributions ;
- b) homogénéité des variances de ces distributions.

Envisageons les possibilités de vérifier ces hypothèses et les erreurs susceptibles d'être commises dans l'application des tests lorsqu'elles n'ont pu être vérifiées.

1. — NORMALITE DES DISTRIBUTIONS

a) Cas général.

Il est difficile de prouver ou d'infirmer l'exactitude de l'hypothèse de normalité lorsqu'on ne dispose que d'échantillons d'effectif égal à 10. Nous avons néanmoins étudié certaines données : la fraction argileuse dans les horizons minéraux (H_3 et H_4).

1^o Coefficients de Pearson.

Les coefficients β_1 et β_2 de Pearson peuvent servir à caractériser la distribution normale (21). Les tables ne permettent malheureusement pas de mettre en évidence des écarts significatifs par rapport à la distribution normale, à partir d'échantillons d'effectif 10. A première vue, les distributions étudiées (0-2 μ , dans les horizons minéraux) sont asymétriques, avec le sommet déporté vers la gauche, et platicurtiques (sommet aplati, relativement à la distribution normale).

2^o Rapport de l'écart entre les valeurs extrêmes (amplitude ou range) à l'écart type (σ).

L'étude de ce rapport a permis de mettre en évidence des différences entre les valeurs calculées et les valeurs attendues pour la distribution normale (20).

3° Conclusions.

Pour les quelques données étudiées, la normalité de la distribution n'est ni prouvée, ni infirmée. A plus forte raison, aucune affirmation ne peut être faite pour les autres résultats analytique.

b) Cas de la fusion des horizons supérieurs

Nous avons montré qu'à de nombreux points de vue (hydrogène échangeable, carbone, azote, et, dans certaines stations, $\text{pH.H}_2\text{O}$, pH.KCl et pH.CaAc_2) des différences significatives existent entre les horizons supérieurs, en ce qui concerne les moyennes des observations et leurs variances. Si on suppose en outre que, au sein de chaque horizon, les résultats analytiques sont distribués normalement, il est évident que la loi de Gauss ne s'applique pas à la distribution commune des déterminations des horizons 1 et 2 (ou b) confondus.

Envisageons par exemple le cas de deux distributions normales de moyennes différentes ($x_1 < x_2$) et de variances égales. On peut établir la courbe de la distribution commune en calculant en chaque point la fréquence moyenne des deux distributions normales. Si $x_2 - x_1$ est suffisamment grand, la distribution commune sera bimodiale, c'est-à-dire à deux maxima de fréquence.



c) Cas des rapports de résultats analytiques.

Dans la *Première étude* [Cf. (12), p. 109], M. MANIL souligne l'intérêt des rapports tels que C/N au point de vue de leur signification écologique. Nous ne connaissons malheureusement pas la distribution statistique de ces rapports ; elle pourrait être calculée en se basant sur les distributions des deux composantes du rapport, par exemple en supposant que C et N sont deux variables normales corrélées [Cf. (12), p. 106].

2. — HOMOGENEITE DES VARIANCES

Nous montrerons dans la *Deuxième partie* que les variances sont très différentes, surtout d'une analyse à l'autre, mais aussi pour une

même analyse d'un horizon à l'autre ou d'une station à l'autre. L'hypothèse d'homogénéité des variances est loin d'être vérifiée.

3. — CONCLUSIONS

1° Dans de nombreux cas où l'analyse de la variance semble s'appliquer, les hypothèses de base ne sont pas vérifiées. Il faut alors utiliser cette méthode d'étude avec circonspection. Plusieurs auteurs ont tenté d'estimer les erreurs commises par l'application inadéquate de l'analyse de la variance. KENDALL considère que la non-normalité est une cause d'erreur d'importance secondaire, relativement à la non-homogénéité des variances (8).

2° D'autres tests peuvent être entachés d'erreur ou d'imprécision du fait de la non-observance de certaines hypothèses. Il en est ainsi pour le test-F d'homogénéité des variances qui suppose, lui aussi, la normalité des distributions dont on compare les variances. Dans l'étude de la fusion des horizons supérieurs (Première partie, p. 113) et de la variabilité des résultats analytiques (Deuxième partie), certaines comparaisons de variances considèrent, d'une part, une distribution probablement non-normale (horizons supérieurs fusionnés) et, d'autre part, une distribution de normalité incertaine (horizon 3 ou horizon 4).

3° Nous avons mis l'accent sur les précautions à prendre dans l'application des tests et l'interprétation des résultats obtenus, dans le cas d'échantillons extraits de populations non-normales. Il est alors plus sûr d'utiliser des tests indépendants de la distribution de la population. Ces tests sont dits non-paramétriques. Outre leur applicabilité quelle que soit la distribution des variables, ces méthodes ont l'avantage d'une grande simplicité et d'une grande rapidité d'application, les calculs étant très réduits relativement aux calculs imposés par les méthodes paramétriques. Un premier test non-paramétrique a déjà été appliqué (Cf. p. 110). D'autres seront utilisés dans la *Troisième partie*.

II. — APPLICABILITE GENERALE DES TESTS STATISTIQUES

Tous les tests statistiques, paramétriques et non-paramétriques, s'appliquent à des échantillons aléatoires et simples. Un échantillon est *aléatoire* lorsque tous les individus de la population ont une chance égale de faire partie de l'échantillon. Il est *simple* lorsque la fonction de distribution d'un individu est indépendante des individus prélevés antérieurement (3) (8).

L'échantillonnage aléatoire (strictement au hasard ou stratifié) peut être réalisé sans grandes difficultés ; tandis que le caractère *simple* des échantillons peut être faussé, notamment dans les cas suivants :

a) S'il existe une *tendance* déterminant une modification systématique des propriétés pédologiques à l'intérieur des stations.

b) Lorsque deux ou plusieurs données d'un même profil sont confondues (fusion des horizons supérieurs, par exemple), s'il existe une *liaison* entre les valeurs des résultats analytiques dans les différents horizons, par exemple, à l'intérieur de la station IV, entre le carbone de l'horizon 1 et le carbone de l'horizon 2.

Il existe des tests du caractère aléatoire et simple des échantillons, (3). Les *tendances* peuvent également être recherchées par le test de MANN (14), [Cf. p. 145].

C. — Considérations sur l'échantillonnage pédologique

I. — CONDITIONS IMPOSEES PAR LE MILIEU EDAPHIQUE

VARIABILITE MORPHOLOGIQUE

L'étude entreprise dans les hêtraies ardennaises a montré l'existence d'importantes modifications locales du profil. Il est apparu que certains horizons (b) ou certaines parties d'horizons pédologiques (H_1 et H_2) n'étaient pas présents en tous les points d'une même station considérée comme homogène et s'étendant sur 1 ou 2 ares seulement.

En se basant sur la morphologie du profil, il n'a pas été possible de prélever le même nombre d'échantillons dans tous les profils des stations I et III : ce défaut de l'échantillonnage complique fortement l'analyse statistique ultérieure. Malgré cela, il nous semble plus intéressant au point de vue pédologique d'adapter l'échantillonnage aux possibilités de prélèvement, plutôt que de prendre à tout prix un nombre constant d'échantillons, même non-représentatifs d'un horizon donné, par exemple en effectuant les prélèvements à certaines profondeurs fixées d'avance pour tous les profils.

VARIABILITE QUANTITATIVE

1° Les quelques chiffres cités jusqu'ici soulignent déjà la grande variabilité des déterminations analytiques et l'hétérogénéité de leurs variations. Ceci montre les risques auxquels on s'expose en caractérisant une station forestière par quelques déterminations effectuées sur des échantillons prélevés dans un profil unique, et aussi, en caractérisant un canton forestier ou un type pédologique ou phytosociologique à partir d'un petit nombre de profils disposés çà et là au goût de l'expérimentateur. L'intérêt de la répétition apparaît à deux points de vue :

a) La précision de la valeur estimée d'une caractéristique quelconque (pédologique ou autre) augmente proportionnellement à la racine carrée du nombre des déterminations sur lesquelles est basée l'estimation : si on quadruple le nombre de déterminations, on double la précision de l'estimation.

b) En répétant plusieurs fois une même mesure, on acquiert des données sur la variabilité de cette mesure. Ces données sont indispensables pour estimer la signification statistique et l'importance pratique de différences observées entre stations, entre profils ou entre horizons différents.

Des renseignements relatifs au nombre de déterminations à effectuer pour obtenir une certaine précision seront données à la fin de la deuxième partie.

2° Lorsque l'on étudie les variations des déterminations pédologiques, il faut distinguer différentes sources de variations, qui sont, outre la variation analytique :

- a) la variation entre horizons, à l'intérieur d'un même profil ;
- b) la variation entre profils, à l'intérieur d'une même station ;
- c) la variation entre stations, à l'intérieur d'un même type pédologique ou phytosociologique ;
- d) la variation entre types.

Diverses interactions peuvent également intervenir, notamment l'interaction horizon x type.

Les résultats obtenus jusqu'à présent n'apportent aucun renseignement sur la variation entre stations, à l'intérieur d'un même type. Le plan d'échantillonnage suivant pourrait préciser à l'avenir l'importance des quatre sources de variation, sans augmenter le nombre de profils et de prélèvements :

- a) Quatre types : hêtraie à fétuque (versant frais) ;
hêtraie à luzule (plateau) ;
hêtraie à myrtille (versant sec) ;
bouquet d'épicéas, sur fange (plateau).
- b) Dans chaque type, cinq stations.
- c) Dans chaque station, deux profils.
- d) Dans chaque profil, un certain nombre d'horizons, si possible constant au sein d'un même type.

Ce plan d'échantillonnage donne une idée plus représentative de chaque type étudié et de sa signification écologique.

3° L'étude de la fusion des résultats obtenus dans les horizons supérieurs a montré l'importance des différences entre les horizons H_1 et H_2 , c'est-à-dire entre deux niveaux différents considérés au sein d'un même horizon pédologique (A_1). Il apparaît donc nécessaire d'étudier également les variations rencontrées à l'intérieur d'une même unité (horizon A_1 , par exemple) d'un profil pédologique. Dans ce but, l'échantillonnage doit toujours être le plus détaillé possible : dans les horizons d'épaisseur suffisante, il y a intérêt à effectuer plusieurs prélèvements.

II. — CONCLUSIONS

Lors de l'établissement d'un plan d'échantillonnage, il faut trouver un compromis entre les conditions imposées par le milieu édaphique et les conditions d'application des méthodes statistiques. En pratique, lorsqu'un accord complet est irréalisable, le facteur pédologique est prépondérant : il est sans intérêt d'effectuer une analyse, parfaite au point de vue statistique, de résultats sans signification pédologique, obtenus par exemple par le prélèvement d'échantillons à une profondeur constante, si cette profondeur ne correspond pas au même niveau pédologique dans tous les profils.

Lorsqu'ainsi les conditions édaphiques ont obligé l'expérimentateur à s'écarter des conditions d'application des méthodes statistiques envisagées, il est nécessaire soit d'adapter celles-ci aux nouvelles conditions, soit de rechercher d'autres méthodes, plus adéquates. Ici apparaît à nouveau l'intérêt des méthodes non-paramétriques.

DEUXIEME PARTIE

ETUDE DE LA VARIABILITE DES RESULTATS ANALYTIQUES

En entreprenant l'étude statistique des sols ardennais, M. MANIL s'était notamment fixé comme but *d'acquérir une idée sur l'homogénéité du milieu édaphique*. Par l'étude des variances et des coefficients de variabilité, nous essaierons d'apporter quelques nouveaux éclaircissements à ce problème d'importance fondamentale, notamment pour l'établissement ultérieur d'un plan de recherches analogue à celui déjà exécuté.

A. — Moyennes et variances des résultats analytiques

Pour les différents horizons (Horizons supérieurs, H_3 , H_4), les tableaux 4 à 12 renseignent, dans l'ordre, les moyennes, les effectifs et les variances des résultats analytiques dans chacune des stations.

B. — Variabilité des résultats des différentes stations et des différents horizons

I. — METHODE ET RESULTATS

1. — VARIANCE

Le tableau 13 groupe, pour chaque station et pour chaque analyse :

a) La *variance totale* des horizons supérieurs (H_8), retranscrite des tableaux 4 à 12.

TABLEAU 4

Fraction argileuse (0-2 μ). Pour les différents horizons des quatre stations, et de haut en bas dans chaque case : moyennes, effectifs et variances

Stations	I	II	III	IV
H ₈	—	—	—	—
	—	—	—	—
	—	—	—	—
H ₃	17.125	20.678	28.920	22.723
	10	10	9	10
	21.9382	9.2899	17.7709	17.6280
H ₁	16.707	24.100	26.968	18.782
	9	10	10	10
	12.4947	8.9649	13.6126	18.8788

TABLEAU 5

Fraction argilo-limoneuse (0-10 μ) : idem

Stations	I	II	III	IV
H ₈	40.443	—	48.265	41.267
	11	—	12	11
	10.1318	—	12.9736	5.6826
H ₃	37.944	37.343	48.749	42.006
	10	10	9	10
	10.5247	16.3544	26.8279	7.7936
H ₁	35.913	39.989	46.072	37.082
	9	10	10	10
	33.6589	9.8892	48.4976	53.1310

TABLEAU 6

pH à l'eau : idem

Stations	I	II	III	IV
H ₈	4.1123	4.145	3.769	3.593
	17	10	22	20
	0.0518	0.0837	0.0113	0.0315
H ₃	4.267	4.269	4.316	4.152
	10	10	10	10
	0.0078	0.0277	0.0273	0.0262
H ₁	4.353	4.369	4.431	4.423
	10	10	10	10
	0.0094	0.0085	0.0056	0.0074

TABLEAU 7
pH d'échange : idem

Stations	I	II	III	IV
H _s	3.462	3.498	3.110	3.030
	17	10	22	20
	0.0124	0.0229	0.0073	0.0192
H ₃	3.624	3.553	3.807	3.848
	10	10	10	10
	0.0034	0.0290	0.0394	0.0559
H ₄	3.797	3.931	4.048	4.292
	10	10	10	10
	0.0252	0.0217	0.0131	0.0068

TABLEAU 8
pH hydrolytique : idem

Stations	I	II	III	IV
H _s	5.745	5.697	5.563	5.485
	17	10	22	20
	0.0103	0.0081	0.0220	0.325
H ₃	5.944	5.958	5.938	5.855
	10	10	10	10
	0.0038	0.0058	0.0099	0.0107
H ₄	6.138	6.145	6.167	6.134
	10	10	10	10
	0.0065	0.0104	0.0117	0.0037

TABLEAU 9
Hydrogène échangeable : idem

Stations	I	II	III	IV
H _s	22.408	21.495	31.716	37.032
	17	10	22	20
	38.3315	42.6639	88.7709	208.0742
H ₃	11.784	7.445	14.654	20.625
	10	10	10	10
	4.2942	5.4965	15.7899	9.8876
H ₄	9.106	7.388	9.530	11.884
	10	10	10	10
	4.4224	2.7217	6.2787	5.7950

TABLEAU 10
Carbone (%) : idem

Stations	I	II	III	IV
H ₈	4.898	7.945	9.224	10.571
	17	10	22	20
	4.8869	10.0768	21.3064	42.5707
H ₃	1.363	1.800	1.775	2.245
	10	10	10	10
	0.1377	0.0672	0.1665	0.3173
H ₄	0.674	0.916	0.860	1.087
	10	10	10	10
	0.1043	0.1111	0.0838	0.2257

TABLEAU 11
Azote (%) : idem

Stations	I	II	III	IV
H ₈	1.179	6.128	6.018	6.608
	17	10	22	20
	3.7489	4.5866	13.7088	18.9939
H ₃	1.728	1.675	1.412	1.631
	10	10	10	10
	0.1244	0.1306	0.1229	0.0492
H ₄	1.083	1.109	1.118	1.099
	10	10	10	10
	0.0498	0.0495	0.0313	0.0654

TABLEAU 12
C/N : idem

Stations	I	II	III	IV
H ₈	10.815	12.905	16.386	16.796
	17	10	22	20
	2.3392	1.7391	7.0562	5.9116
H ₃	7.817	11.017	12.702	13.741
	10	10	10	10
	1.0016	3.5427	3.3033	7.0691
H ₄	6.040	8.457	7.637	9.601
	10	10	10	10
	3.4490	12.7357	3.6875	8.3817

b) La *variance moyenne* des horizons supérieurs (pour la station IV seulement) et des horizons inférieurs (H_3 et H_4), définie par la formule

générale $\sigma_m^2 = \frac{\sum_i (n_i - 1) \sigma_i^2}{\sum_i (n_i - 1)}$, appliquée au cas de deux échantillons. Les

nombres de degrés de liberté des estimations du tableau 13 sont indiqués dans le tableau 14.

TABLEAU 13

Varianse totale des horizons supérieurs (1^{re} ligne), variance moyenne des horizons supérieurs (2^{me} ligne) et variance moyenne des horizons inférieurs (3^{me} ligne)

Stations	I	II	III	IV
0.2 μ	—	—	—	—
	17.4942	9.1274	15.5695	18.2534
0.10 μ	10.1318	—	12.9736	5.6826
	21.4114	13.1218	38.3530	30.4623
pH.H ₂ O	0.0518	0.0837	0.0113	0.0315
	—	—	—	0.0219
	0.0086	0.0181	0.0164	0.0168
pH.KCl	0.0124	0.0229	0.0073	0.0192
	—	—	—	0.0109
	0.0143	0.0253	0.0263	0.0313
pH.CaAc ₂	0.0103	0.0081	0.0220	0.0325
	—	—	—	0.0158
	0.0051	0.0081	0.0108	0.0072
Hydrog. échang.	38.3315	42.6639	88.7709	208.0742
	—	—	—	115.5236
Carbone	4.3583	4.1091	11.0343	7.8413
	4.8869	10.0768	21.3064	42.5707
	—	—	—	16.1436
Azote	0.1210	0.0891	0.1251	0.2715
	3.7489	4.5866	13.7088	18.9939
	—	—	—	6.5333
C/N	0.0871	0.0900	0.0771	0.0573
	2.3392	1.7391	7.0562	5.9116
	—	—	—	4.4817
	2.2253	8.1392	3.4957	7.7254

TABLEAU 14

Nombre de degrés de liberté des variances du tableau 13

Stations	I	II	III	IV
0-2 μ	—	—	—	—
	—	—	—	—
	17	18	17	18
0-10 μ	10	—	11	10
	—	—	—	—
	17	18	17	18
Autres résultats	16	9	21	19
	—	—	—	18
	18	18	18	18

La *variance totale* des horizons supérieurs comprend :

a) La *variance interhorizons*, provenant des différences entre les horizons. Cette variance correspond à l'*effet horizon* de l'analyse de variance à un facteur, étudié à l'intérieur d'une station.

b) La *variance intrahorizons* des différents horizons que l'on pourrait distinguer. C'est la *variance résiduelle* de la même analyse de variance.

La *variance moyenne* des horizons inférieurs correspond uniquement à la *variance intrahorizons* (résiduelle) des horizons inférieurs.

Pour comparer les horizons inférieurs et supérieurs au point de vue de leur variabilité, il faudrait comparer la *variance moyenne* des horizons inférieurs à la *variance moyenne* des horizons supérieurs. Il est impossible d'estimer exactement cette dernière pour toutes les stations, du fait du manque de données complètes. Nous utiliserons donc la *variance totale* des horizons supérieurs, sans oublier qu'elle est toujours supérieure ou égale à la *variance moyenne*, sur laquelle nous devrions baser nos comparaisons. Le tableau 19 (p. 134) nous donne quelques indications sur l'importance des différences entre *variance moyenne* et *variance totale*. Rappelons que ces différences sont plus marquées dans les stations plus dégradées.

2. — COEFFICIENT DE VARIABILITE

Les coefficients de variabilité ont également été calculés, définis comme suit :

$$\text{Coefficient de variabilité totale : } \frac{100 \sigma_t}{x.}$$

Coefficient de variabilité moyenne : $\frac{100 \sigma_m}{x}$, σ représentant un écart-type et x une moyenne.

La remarque énoncée ci-dessus pour les variances s'applique entièrement aux coefficients de variabilités totale et moyenne.

Les valeurs obtenues ont été groupées dans le tableau 15.

TABLEAU 15

Coefficients de variabilité totale des horizons supérieurs (1^{re} ligne),
de variabilité moyenne des horizons supérieurs (2^{me} ligne)
et de variabilité moyenne des horizons inférieurs (3^{me} ligne)

Stations	I	II	III	IV
0-2 μ	—	—	—	—
	24.3	13.5	14.1	20.6
0-10 μ	7.9	—	7.5	5.8
	12.5	9.4	13.1	14.0
pH.H ₂ O	5.5	7.0	2.8	4.9
	2.2	3.1	2.9	3.0
pH.KCl	3.2	4.3	2.7	4.6
	3.2	4.2	4.1	3.4
pH.CaAc ₂	1.8	1.6	2.7	3.3
	1.2	1.5	1.7	2.3
Hydrog. échang.	27.6	30.4	29.7	39.0
	20.0	27.3	27.5	29.0
Carbone	45.1	39.9	50.0	61.7
	34.2	21.9	26.8	38.0
Azote	43.2	35.0	61.5	66.0
	21.0	21.6	22.0	38.7
C/N	14.1	10.2	16.2	14.5
	21.5	29.3	18.4	12.6
				23.8

3. — TEST APPLIQUE

Les comparaisons de variances sont faites par le test-F (Cf. p. 113).
Aucun test n'a été appliqué aux coefficients de variabilité.

II. — CONCLUSIONS

1. — FRACTION ARGILEUSE (0-2 μ)

Pour les horizons minéraux, il n'y a pas de distinction significative entre stations, au point de vue de la dispersion des observations.

2. — FRACTION ARGILO-LIMONEUSE (0-10 μ)

1° Différences entre stations

Seule la différence de variance entre les horizons minéraux des stations II et III est significative. Il est bon de noter que la station III est la plus argileuse (Cf. Troisième partie, p. 142), et que, de ce fait, la distinction s'atténue si on considère le coefficient de variabilité.

2° Différences entre horizons

Sauf dans la station II, la variance augmente en profondeur, des horizons supérieurs aux horizons inférieurs, et aussi de l'horizon 3 à l'horizon 4. (Cf. tableaux 5 et 10). Dans les divers horizons, le coefficient de variabilité subit des modifications parallèles à celles de la variance.

3. — MESURES DE pH

Les tableaux 6 à 8 et 13 mettent en évidence d'importants changements de variance d'une station à l'autre et d'un horizon à l'autre. Il semble que le pH à l'eau et le pH à l'acétate varient plus en surface qu'en profondeur, même en considérant la *variance moyenne* des horizons supérieurs (Station IV). Vu les différences relativement faibles de pH dans les diverses stations et les divers horizons, le calcul du coefficient de variabilité n'apporte aucune connaissance supplémentaire.

4. — HYDROGENE ECHANGEABLE

1° Différences entre stations

La variance des horizons supérieurs s'accroît de la station I à la station IV ; seule la station IV s'écarte significativement des stations I et II. Pour les horizons inférieurs, la station II est significativement différente de la station III, au point de vue de la variance.

2° Différence entre horizons

Dans chaque station, une différence hautement significative existe entre les *variances totale* et moyenne (Station IV) des horizons supérieurs et la *variance moyenne* des horizons inférieurs. Parmi les horizons minéraux, la variance de l'horizon 3 est généralement supérieure à celle de l'horizon 4, sans toutefois que les différences soient significatives.

3° Coefficient de variabilité

L'homogénéité du coefficient de variabilité contraste remarquablement avec l'augmentation régulière de la variance dans les horizons plus superficiels et dans les stations plus dégradées.

5. — CARBONE ET AZOTE

Le comportement de la variance et du coefficient de variabilité est sensiblement le même que dans le cas de l'hydrogène échangeable. Les schémas suivants indiquent les niveaux de signification des différences entre les *variances totales* des horizons supérieurs, pour le carbone et pour l'azote.

Stations	II	—		
	III	x	—	
	IV	xx	x	—
Stations		I	II	III

Carbone

Stations	II	—		
	III	x	—	
	IV	x	x	—
Stations		I	II	III

Azote

Une seule différence significative apparaît dans les horizons minéraux ; pour le carbone, entre les stations II et IV.

6. — RAPPORT C/N

Pour les horizons organiques, la variance semble plus élevée dans les stations à mor que dans les stations à mull ; deux différences sont significatives :

Stations	II	—		
	III	x	x	
	IV	—	—	—
Stations		I	II	III

Dans les horizons minéraux, elle est très variable, et aucune différence régulière ne semble exister. Le coefficient de variabilité est constant d'une station à l'autre, mais semble plus élevé dans les horizons minéraux.

C. — Variabilité des résultats des différentes analyses

I. — METHODES ET RESULTATS

Les variances moyennes à l'intérieur des quatre stations peuvent être calculées à partir des résultats renseignés dans les tableaux 4 à 12, ou directement à partir des tableaux 13 et 14. Ces variances intrastations et leurs nombres de degrés de liberté sont indiqués dans les tableaux 16 et 17.

Le tableau 18 comprend les coefficients de variabilité calculés en fonction des variances et des moyennes générales.

TABLEAU 16

Variances intrastations (pour l'ensemble des quatre stations)

Horizons	supérieurs	inférieurs
0-2 μ	—	15.0705
0-10 μ	9.7050	25.7216
pH.H ₂ O	0.0372	0.0150
pH.KCl	0.0112	0.0243
pH.CaAc ₂	0.0203	0.0078
H' éch.	104.8443	6.8357
Carbone	21.9256	0.1517
Azote	11.5389	0.0780
C/N	4.8243	5.3963

TABLEAU 17

Nombre de degrés de liberté des variances du tableau 16

Horizons	supérieurs	inférieurs
0-2 μ	—	70
0-10 μ	31	70
Autres résultats	65	72

II. — CONCLUSIONS

a) Analyse granulométrique

Dans les horizons minéraux, la variance de la fraction 0-10 μ semble supérieure à celle de la fraction 0-2 μ . Toutefois, la relation inverse existe au point de vue de la variabilité (Tableau 18). Pour l'ensemble des stations comme pour les stations isolées, les variations de la fraction 0-10 μ sont plus faibles en surface (différence significative de variance et différence de coefficient de variabilité). Cette tendance pourrait provenir d'une

TABLEAU 18
Coefficients de variabilité, pour l'ensemble des quatre stations

Horizons	supérieurs	inférieurs
0-2 μ	—	17.6
0-10 μ	7.2	12.5
pH.H ₂ O	5.0	2.8
pH.KCl	3.7	4.0
pH.CaAc ₂	2.5	1.5
H ⁺ éch.	34.7	22.6
Carbone	55.3	29.1
Azote	58.3	20.6
C/N	15.0	24.1

influence plus importante en profondeur, des variations locales de la texture de la roche-mère altérée.

b) Mesures de pH

Relativement aux déterminations qui concernent la matière organiques (C, N, C/N), auxquelles se joint l'hydrogène échangeable, les mesures de pH varient très peu. Il ne faut toutefois pas oublier que le pH est une expression logarithmique de l'acidité, alors que les autres résultats s'expriment par des valeurs arithmétiques simples. Du tableau 16 ressort un classement évident : dans les horizons supérieurs : le pH.KCl et le pH.CaAc₂ sont moins variables que le pH.H₂O ; dans les horizons inférieurs, le pH.CaAc₂ est plus variable que le pH.H₂O et le pH.KCl, le pH.H₂O plus que le pH.KCl : toutes les différences citées étant significatives. La supériorité du pH à l'acétate s'affirme mieux encore par l'étude du coefficient de variabilité.

c) Hydrogène échangeable, carbone et azote

Dans les trois cas, la variance est significativement plus élevée dans les horizons supérieurs : mais le coefficient de variabilité indique des différences beaucoup plus faibles entre horizons supérieurs et inférieurs, surtout si l'on tient compte du fait que, ici encore, la variance et le coefficient de variabilité des horizons supérieurs sont calculés à partir des variances totales des horizons supérieurs des quatre stations, alors que la variance et le coefficient de variabilité des horizons inférieurs sont réellement des valeurs moyennes.

Il est intéressant de constater que les coefficients de variabilité du carbone et de l'azote sont du même ordre de grandeur.

d) Rapport C/N

Pour cette dernière détermination, la variance et le coefficient de variabilité sont plus élevés dans les horizons inférieurs, quoique la différence de variance ne soit pas significative. Dans les horizons supérieurs, la variabilité est nettement plus faible que celle du carbone et de l'azote, ce qui correspond bien à l'existence d'une corrélation plus étroite entre ces deux variables.

D. — Relation entre le nombre de déterminations et la précision

I. — METHODE

1° Connaissant le coefficient de variabilité, il est aisé de calculer le nombre de déterminations à effectuer pour obtenir une estimation d'une précision donnée. On a en effet la relation suivante :

$$P \left\{ |x. - \mu| \geq \lambda \sigma_x \right\} = P \left\{ |x. - \mu| \geq \frac{\lambda \sigma_x}{\sqrt{n}} \right\} = 0.05, \quad \text{où } \sigma_x \text{ est}$$

l'écart type d'une détermination, σ_x , l'écart-type de la moyenne de n déterminations et μ la vraie valeur. Au seuil 5 %, $\lambda = 1.96$.

Si p est l'erreur maximum admise, exprimée en % de la valeur moyenne, il faut que $|x. - \mu| \leq \frac{px.}{100}$. A la limite de l'intervalle de confiance ainsi défini,

$$\frac{px.}{100} = |x. - \mu| = \frac{\lambda \sigma_x}{\sqrt{n}} = 1.96 \cdot \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}.$$

$$\text{D'où on tire : } \sqrt{n} = \frac{1.96}{p} \cdot \frac{100 \sigma_x}{x.} = \frac{1.96}{p} c$$

$$\text{et } n = 3.84 \frac{c^2}{p^2}, \text{ si on appelle } c \text{ le coefficient de variabilité.}$$

La vraie valeur a 95 chances sur 100 de se trouver dans l'intervalle

$$\left\{ x. - \frac{px.}{100}, x. + \frac{px.}{100} \right\}. \text{ Elle est estimée à } p\% \text{ près.}$$

2° Les valeurs de n sont, pour différentes erreurs maxima p :

$p = 1 \%$	$n = 3.84 \ c^2$
2 %	$0.96 \ c^2 \cong c^2$
5 %	$0.154 \ c^2$
6 %	$0.107 \ c^2 \cong \frac{c^2}{10}$
10 %	$0.0384 \ c^2$
20 %	$0.0096 \ c^2 \cong \frac{c^2}{100}$

3° Inversément, on a :

$p = \frac{1.96 \ c}{\sqrt{n}}$, relation qui permet de calculer l'intervalle de confiance de la moyenne de n déterminations de coefficient de variabilité c .

Par exemple, pour $n = 1$	$p = 1.96 \ c$
2	1.39 c
5	0.88 c
10	0.62 c
20	0.44 c
50	0.28 c
100	0.20 c

4° La relation envisagée ci-dessus est basée sur l'hypothèse de normalité des distributions des résultats analytiques. Si la normalité n'est pas vérifiée, il est possible d'envisager une relation analogue : l'inégalité de Tchebychef (2). En supposant toutefois que les distributions sont symétriques, et en utilisant les mêmes notations, on a :

$$P \left\{ |x - \mu| \geq h \sigma_x \right\} = P \left\{ |x - \mu| \geq \frac{h \sigma_x}{\sqrt{n}} \right\} \leq \frac{4}{9} \frac{1}{h^2}.$$

Au seuil 5 %, $\frac{4}{9 h^2} = \frac{5}{100}$ et $h = 2.98$. A la limite de l'intervalle

de confiance, $|x - \mu| = \frac{p x}{100} = h \sigma_x = \frac{h \sigma_x}{\sqrt{n}}$, d'où on extrait les deux

relations suivantes :

$$n = \frac{h^2 c^2}{p^2} = 8.9 \frac{c^2}{p^2}$$

$$\text{et } p = \frac{h c}{\sqrt{n}} = 2.98 \frac{c}{\sqrt{n}}$$

Pour $p = 1\%$	$n = 8.9 c^2$
2	$2.2 c^2$
5	$0.36 c^2$
6	$0.25 c^2 = \frac{c^2}{4}$
10	$0.089 c^2$
20	$0.022 c^2$
Pour $n = 1$	$p = 2.98 c$
2	$2.11 c$
5	$1.33 c$
10	$0.94 c$
20	$0.67 c$
50	$0.42 c$
100	$0.30 c$

5° Pour les horizons supérieurs, nous ne disposons d'aucune estimation exacte du coefficient de variabilité moyenne: nous en avons cherché une estimation approximative en considérant les données suivantes :

a) les indications du tableau 3 (3^{me} colonne), relatives à la station IV ;

b) le fait que les valeurs de $\frac{\sigma_t^2}{\sigma_m^2}$ semblent être les plus élevées dans la station IV :

TABLEAU 19

Valeurs approximatives du rapport de la variance totale à la variance moyenne, dans les horizons supérieurs

pH.H ₂ O	1.2
pH.KCl	1.3
pH.CaAc ₂	1.4
H ⁺ éch.	1.7
Carbone	2.0
Azote	2.2
C/N	1.1

c) les résultats analogues obtenus pour la station I (Cf. p. 116) :

d) les niveaux de signification des différences entre les horizons 1 et 2 (tableau 1), sachant en effet que le rapport $\frac{\sigma_t^2}{\sigma_m^2}$ augmente lorsque la différence entre H₁ et H₂ s'accroît.

En fonction de ces divers facteurs, nous avons donné pour chaque détermination (sauf pour l'analyse granulométrique, les résultats étant

trop fragmentaires) une estimation de $\frac{\sigma_t^2}{\sigma_m^2}$ (tableau 19). Ce facteur correctif permet de calculer une valeur approximative de la variance moyenne des horizons supérieurs et de leur coefficient de variabilité moyenne.

II. — RESULTATS

a) Les tableaux 20 et 21 donnent les valeurs approximatives de n pour quatre erreurs maxima données (2 %, 5 %, 10 %, 20 %) et pour les différentes analyses. Notons que l'erreur moyenne de l'estimation

TABLEAU 20

Nombre de déterminations à effectuer pour que l'erreur maximum de l'estimation soit inférieure ou égale à p %, au seuil 5 %. Hypothèse de normalité

Horizons	supérieurs				inférieurs			
Précision	2 %	5 %	10 %	20 %	2 %	5 %	10 %	20 %
0-2 μ	—	—	—	—	300	48	12	3
0-10 μ	50	8	2	1	150	24	6	2
pH.H ₂ O	20	4	1	1	8	2	1	1
pH.KCl	10	2	1	1	16	3	1	1
pH.CaAc ₂	5	1	1	1	3	1	1	1
H ⁺ échang.	680	110	28	7	490	79	20	5
Carbone	1470	235	59	15	820	130	33	9
Azote	1490	240	60	15	410	66	17	4
C/N	200	32	8	2	560	90	23	6

TABLEAU 21

Nombre de déterminations à effectuer pour que l'erreur maximum de l'estimation soit inférieure ou égale à p %, au seuil 5 %.

Inégalité de Tchebychef, hypothèse de symétrie des distributions

Horizons	supérieurs				inférieurs			
Précision	2 %	5 %	10 %	20 %	2 %	5 %	10 %	20 %
0-2 μ	—	—	—	—	680	115	28	7
0-10 μ	115	19	5	2	350	57	14	4
pH.H ₂ O	46	8	2	1	18	3	1	1
pH.KCl	23	4	1	1	36	6	2	1
pH.CaAc ₂	10	2	1	1	5	1	1	1
H ⁺ échang.	1560	260	63	16	1130	190	46	12
Carbone	3360	550	140	34	1870	310	76	19
Azote	3400	560	140	34	940	160	38	10
C/N	450	74	19	5	1280	210	52	13

est trois fois plus petite que la valeur correspondante de p , dans le cas de la distribution normale.

b) Les tableaux 22 et 23 renseignent les erreurs maxima approximatives p obtenues pour diverses valeurs de n , dans les horizons supérieurs et dans les horizons inférieurs. Pour cette seconde partie, les estimations de p sont basées uniquement sur l'hypothèse de normalité. Pour trouver les valeurs correspondantes calculées d'après l'inégalité de Tchebychef, sous l'hypothèse de symétrie, il suffit d'augmenter de moitié les valeurs données aux tableaux 22 et 23.

TABLEAU 22

Erreurs maxima approximatives (en %) des estimations basées sur n déterminations, dans les horizons supérieurs. Hypothèse de normalité

n	1	2	5	10	20	50	100
0-2 μ		—					
0-10 μ	14	10	7	4.5	3.2	2.0	1.5
pH.H ₂ O	9	7	4.1	2.9	2.0	1.3	1.0
pH.KCl	7	4.6	2.9	2.1	1.5	0.9	0.7
pH.CaAc ₂	4.2	3.0	1.9	1.3	1.0	0.6	0.5
H ⁺ échang.	53	37	24	17	12	8	6
Carbone	77	55	35	25	18	11	8
Azote	77	55	35	25	18	11	8
C/N	28	20	13	9	7	4.0	2.9

TABLEAU 23

Erreurs maxima (en %) des estimations basées sur n déterminations, dans les horizons inférieurs. Hypothèse de normalité

n	1	2	5	10	20	50	100
0-2 μ	35	25	16	11	8	4.9	3.5
0-10 μ	25	18	11	8	6	3.5	2.5
pH.H ₂ O	6	3.9	2.5	1.7	1.2	0.8	0.6
pH.KCl	8	6	3.5	2.5	1.8	1.1	0.8
pH.CaAc ₂	3.0	2.1	1.3	0.9	0.7	0.4	0.3
H ⁺ échang.	44	33	20	14	10	6	4.5
Carbone	57	41	26	18	13	8	6
Azote	40	29	18	13	9	6	4.1
C/N	17	14	21	15	11	7	4.8

III. — REMARQUES

1° Il apparaît au tableau 15 (p. 127) que les variations interstations du coefficient de variabilité sont relativement faibles, ce qui revient à dire que l'erreur exprimée en % de l'estimation ne varie pas fortement

d'une station à l'autre. Dans ces conditions, il semble peu intéressant d'estimer pour chaque station en particulier le nombre de déterminations nécessaires à l'obtention d'une certaine précision. Ces estimations seraient d'ailleurs moins précises que les estimations globales pour les quatre stations.

2° Lors du choix d'une caractéristique pédologique dans le but de différencier plusieurs stations ou plusieurs types proches les uns des autres, il ne suffit pas de considérer la précision obtenue : il faut également envisager l'importance des variations entre stations ou entre types.

D. — Résumé et conclusions

1° Le test-F est appliqué à l'étude des variances des résultats analytiques à l'intérieur des différentes stations, moyennant certaines restrictions (pp. 118 et 126). Parallèlement, le coefficient de variabilité $\left(\frac{100\sigma}{x} \right)$ est également étudié.

2° Les modifications de la granulométrie (fraction 0-10 μ) sont plus importantes en profondeur qu'en surface. Par contre, les autres caractéristiques pédologiques (sauf le rapport C/N et, peut-être certaines mesures de pH) sont plus variables en surface, c'est-à-dire là où agissent les facteurs biologiques qui les déterminent.

3° Les variations des trois formes de pH, quoique relativement très faibles, subissent d'importantes modifications d'un horizon à l'autre, et surtout d'une station à l'autre. Le classement des déterminations de pH s'établit comme suit :

Horizons supérieurs : de variabilités sensiblement égales (variances et coefficients de variabilité), pH.KCl et pH.CaAc₂; beaucoup plus variable, pH.H₂O.

Horizons inférieurs : par ordre de variabilité croissante : pH.CaAc₂, pH.H₂O, pH.KCl.

4° Les variances en général très élevées de l'hydrogène échangeable, du carbone et de l'azote augmentent systématiquement des horizons profonds aux horizons superficiels, et des sols les meilleurs aux sols les plus dégradés. Toutefois, la dispersion des valeurs, exprimée par l'écart-type (σ), est approximativement proportionnelle aux valeurs atteintes par les déterminations, de telle sorte que le coefficient de variabilité subit des modifications beaucoup moins importantes que la variance.

5° Le rapport C/N varie, dans les horizons supérieurs, beaucoup moins que le carbone et l'azote, et plus que ces deux déterminations dans les horizons inférieurs.

6° La grande hétérogénéité de détail des sols étudiés peut facilement s'expliquer :

a) De nombreux facteurs accidentels modifient localement les caractères des sols forestiers : répartition et enracinement des espèces herbacées, racines ligneuses en décomposition, accumulation locale de litière, galeries de rongeurs, remaniements locaux par érosion ou colluvionnement, etc.

b) Ces modifications locales sont fortement accentuées dans les horizons superficiels des sols pauvres en bases, en voie de dégradation, notamment par la monoculture du hêtre et par d'autres pratiques nuisibles anciennes ou récentes (couvert incomplet de la station II) (1) (9) (12) (18) (19). Il en résulte une instabilité des conditions d'humification, qui provoque de très fortes variations locales de la quantité de matière organique (C, N) et de sa qualité (C/N, acidité), ainsi que des modifications morphologiques du profil (Station III). Il semble possible de distinguer les sols en voie de dégradation des sols en équilibre (pédoclimax), par l'amplitude des variations de certaines caractéristiques de la matière organique.

7° Quatre tableaux explicitent la relation existant entre le coefficient de variabilité, le nombre de déterminations et la précision. Ils indiquent, pour les diverses analyses, dans les horizons supérieurs et dans les horizons inférieurs, soit le nombre de déterminations nécessaires à l'obtention d'une certaine précision, soit la précision obtenue à partir d'un certain nombre de déterminations. Ces indications sont basées, d'une part sur l'hypothèse de normalité, d'autre part sur l'inégalité de Tchebychef, avec hypothèse de symétrie des distributions.

TROISIEME PARTIE

NOUVELLES APPLICATIONS DE TESTS STATISTIQUES A DES PROBLEMES PEDOLOGIQUES

A. — Etude des variations interstations du rapport C/N

I. — PROBLEME POSE

Malgré l'importance de la variabilité des résultats relatifs à la matière organique (C, N, C/N), et l'imprécision qui en résulte dans l'application des méthodes statistiques, est-il possible de montrer la signification de différences entre stations ?

Cet énoncé ne constitue qu'un exemple du problème rencontré d'une manière plus générale en pédologie et en biologie, à savoir : le dépouillement statistique de résultats de variabilité résiduelle (aléatoire) très grande.

II. — CHOIX D'UNE METHODE

1° Le rapport C/N semble particulièrement apte à caractériser efficacement les horizons organiques des quatre stations. En effet, ses variations interhorizons (Première partie, p. 111) et intrahorizons (Deuxième partie, p. 132) sont beaucoup plus faibles que celles du carbone et de l'azote.

2° Le test de MANN (Cf. p. 145) n'a pas montré de liaison entre les valeurs de C/N de l'horizon 1 et les valeurs correspondantes de l'horizon 2, dans les stations I et IV (*). Du fait de cette indépendance (Cf. p. 119), et considérant aussi qu'il n'existe pas de variations interhorizons *importantes* entre H_1 et H_2 , dans les stations I, III et IV (Tableau 1, p. 112), il semble possible de confondre valablement dans chaque station les observations de l'ensemble des horizons supérieurs (horizons humifères) en un seul échantillon. Il en résulte une augmentation de l'effectif et parallèlement une augmentation de la sensibilité des tests.

3° Ignorant la distribution statistique du rapport C/N dans les horizons supérieurs confondus : il est prudent d'appliquer une méthode non-paramétrique.

III. — TEST NON-PARAMETRIQUE CORRESPONDANT A L'ANALYSE DE LA VARIANCE. — PROBLEME DES r /ECHANTILLONS

L'analyse de la variance teste simultanément à partir de plusieurs échantillons les hypothèses d'homogénéité des moyennes et des variances des populations correspondantes, c'est-à-dire l'identité de leurs distributions, supposées normales. De même, la méthode non-paramétrique que nous utiliserons teste globalement l'identité des distributions des différentes populations, sans émettre aucune hypothèse sur ces distributions.

La méthode est proposée par BROWN et MOOD (17) et généralisée par P. DE MUNTER dans une publication récente (3). Nous ne l'exposerons que sommairement, appliquée au cas qui nous intéresse.

On ordonne les observations des quatre échantillons (quatre stations) en une série de valeurs croissantes. On détermine ensuite les trois quartiles, délimitant quatre intervalles comprenant chacun un quart des observations, et on compte le nombre d'observations de chaque échantillon compris dans chaque intervalle. On dresse ainsi un tableau de contingence dans lequel, par exemple, N_{II2} est le nombre d'observations de l'échantillon II appartenant au 2^{ème} intervalle (compris entre le premier et le deuxième quartile).

Si l'hypothèse d'identité des distributions est vérifiée, la répartition des observations dans les intervalles se fera d'une manière analogue pour

(*) Les données trop incomplètes des stations II et III ne permettent pas d'effectuer les mêmes calculs.

Stations	I	II	III	IV	Totaux
Premier intervalle					17.25
Deuxième intervalle		N _{II 2}			17.25
Troisième intervalle					17.25
Quatrième intervalle					17.25
Totaux	17	10	22	20	69

les quatre échantillons. Dans ce cas, les facteurs *échantillon* (ou *station*) et *intervalle* sont indépendants. On teste facilement cette indépendance par la méthode χ^2 .

IV. — RESULTATS

1° Pour l'ensemble des quatre stations, le test met en évidence une différence hautement significative.

2° La même méthode a été utilisée pour étudier les stations prises 2 à 2. Elles sont toutes significativement différentes l'une de l'autre, sauf les stations III et IV, ainsi que l'indique le schéma suivant :

Stations	II	XX		
	III	XXX	XX	
	IV	XXX	XXX	—
Stations		I	II	III

3° Le test basé sur deux intervalles limités par la médiane, et appliqué aux mêmes données, a donné des résultats analogues :

Stations	II	X		
	III	XXX	XXX	
	IV	XXX	XXX	—
Stations		I	II	III

V. — CONCLUSIONS

1° L'étude des variations entre stations du rapport C/N montre que seules les stations III et IV ne diffèrent pas significativement l'une de l'autre. Il est intéressant de signaler qu'une différence au point de vue de la qualité de l'humification existe déjà entre les stations I et II. La situation de plateau, moins favorable que la situation de versant

frais, et le couvert incomplet de la station II sont probablement les causes de cette distinction.

2° La méthode utilisée est suffisamment sensible pour mettre en évidence des différences significatives entre les rapports C/N des quatre stations, dans les horizons supérieurs.

B. — Etude des variations interstations des fractions granulométriques fines

I. — PROBLEME POSE ET METHODE

Le problème posé est identique à celui étudié dans le chapitre précédent. La même méthode non-paramétrique et l'analyse de la variance ont été appliquées.

II. — FRACTION ARGILEUSE (0-2_μ)

1° Horizon 3

a) Les deux méthodes utilisées mettent en évidence l'existence de variations très hautement significatives entre les quatre stations.

b) Le test non-paramétrique appliqué aux stations prises deux à deux a montré la signification des différences indiquées ci-dessous.

Stations	II	—		
	III	xxx	xx	
	IV	—	—	—
Stations		I	II	III

c) Les moyennes sont, dans l'ordre croissant :

Stations	I	17.725
	II	20.768
	IV	22.723
	III	28.920

2° Horizon 4

a) La même différence existe entre les quatre stations.

b) Entre les stations prises deux à deux, quatre différences sont significatives :

Stations	II	xx		
	III	xxx	xx	
	IV	—	—	xxx
Stations		I	II	III

c) Les moyennes sont, dans l'ordre croissant :

Stations	I	16.707
	IV	18.782
	II	24.100
	III	26.968

3° Horizon 3 et 4

Les moyennes sont, dans l'ordre croissant :

Stations	I	17.243
	IV	20.752
	II	22.389
	III	27.893

III. — FRACTION ARGILO-LIMONEUSE FINE (0—10 μ)

Aucun test n'a été appliqué aux données de la fraction argilo-limoneuse fine. Le tableau 24 renseigne les moyennes dans les différents horizons ; elles sont classées dans l'ordre croissant des horizons supérieurs et des horizon inférieurs.

L'analyse statistique de ces résultats aboutirait probablement à des conclusions analogues à celles formulées pour l'argile.

TABLEAU 24

Moyennes de la fraction argilo-limoneuse fine (0-10 μ), par station et par horizons (horizons supérieurs, H₃, H₄, horizons inférieurs)

Horizons	H ₅	H ₃	H ₄	H _{3 + 4}
Station I	40.443	37.944	35.913	36.982
Station II	—	37.343	39.989	38.666
Station IV	41.267	42.006	37.082	39.544
Station III	48.265	48.749	46.072	47.340

IV. — RESUME ET CONCLUSIONS

1° L'analyse statistique (analyse de la variance et test non-paramétrique du problème des r échantillons) et l'observation directe montrent l'existence de différences significatives entre les stations au point de vue des fractions granulométriques fines (0-2 μ et 0-10 μ).

2° La station III est plus argileuse que les trois autres stations. Parmi celles-ci, certaines différences, généralement moins importantes, existent encore.

3° Cette observation, déjà formulée dans la *Première étude*, confirme clairement que la dégradation observée dans la station III ne provient pas de conditions lithologiques plus défavorables à l'origine.

4° Le limon éolien présent dans les stations I, II et IV semble manquer dans la station III [Cf. (12), p. 45]. La présence de ce limon, constitué en grande partie de particules supérieures à 10μ (10), diminue sensiblement le pourcentage d'argile et de limon fin ($2\text{-}10\mu$) des stations I, II et IV. Dans la station III par contre, le sol s'est entièrement développé par altération de la roche-mère cohérente (schistes et phyllades du Siegenien moyen).

C. — Recherche d'une liaison stochastique entre les fractions granulométriques fines et l'acidité, dans les horizons minéraux (*)

I. — PROBLEME POSE

Dans le but d'essayer de préciser les facteurs déterminant l'économie du sol en ions H^+ nous avons étudié les relations de ses diverses expressions (hydrogène échangeable, $pH.H_2O$, $pH.KCl$, $pH.CaAc_2$) avec les fractions granulométriques fines ($0\text{-}2\mu$ et $0\text{-}10\mu$), soit huit liaisons :

H^+ éch. x $0\text{-}2\mu$	H^+ éch. x $0\text{-}10\mu$
$pH.H_2O$ x $0\text{-}2\mu$	$pH.H_2O$ x $0\text{-}10\mu$
$pH.KCl$ x $0\text{-}2\mu$	$pH.KCl$ x $0\text{-}10\mu$
$pH.CaAc_2$ x $0\text{-}2\mu$	$pH.CaAc_2$ x $0\text{-}10\mu$

Le problème n'a été étudié que dans les horizons minéraux, les données de l'analyse granulométriques étant trop fragmentaires dans les horizons supérieurs. Dans ces derniers, la question se pose d'ailleurs différemment du fait de la présence d'une quantité plus abondante de matière organique et de l'existence dans les quatre stations d'une corrélation que les tests classiques montrent très étroite, entre l'hydrogène échangeable et le carbone [Cf. (12), p. 106].

Il eut été intéressant de rechercher également la relation existant entre les colloïdes minéraux (fractions granulométriques fines) et la matière organique (carbone). Malheureusement, l'analyse granulométrique n'a donné des résultats complets que dans les horizons minéraux, ceux-là même pour lesquels la détermination de la matière organique est soumise à d'importantes erreurs analytiques.

Deux méthodes ont été utilisées : le coefficient de corrélation et une méthode non-paramétrique.

(*) Par *liaison stochastique* entre deux variables, nous entendons une liaison *en probabilité* ou *en moyenne*, ou aussi *non-fonctionnelle*, c'est-à-dire non-définie par une loi mathématique stricte. Ce terme englobe notamment la corrélation entre deux variables, qui, au sens du coefficient de corrélation, est une liaison linéaire entre deux variables normales.

II. — CALCUL DES COEFFICIENTS DE CORRELATION

1. — METHODE

La méthode du coefficient de corrélation n'a été appliquée qu'aux relations entre l'hydrogène échangeable et la fraction argileuse (0-2 μ) d'une part, entre l'hydrogène échangeable et la fraction argilo-limoneuse (0-10 μ) d'autre part. Le calcul du coefficient est classique et nous ne le décrirons plus (6) (20) (21). Il est utile de rappeler cependant que ce paramètre n'a de signification que dans les cas de relations linéaires et que sa distribution dépend de diverses hypothèses, notamment la normalité des populations. Ces hypothèses ainsi que celle de linéarité n'ont pas été vérifiées et la prudence s'impose dans l'interprétation des résultats.

2. — RESULTATS

Le tableau 25 donne les résultats des calculs effectués, ainsi que les seuils de signification correspondants, d'après les tables de FISHER et YATES (7). Les coefficients relatifs à l'horizon 4 de la station I et à l'horizon 3 de la station III sont basés sur 9 couples de résultats : les autres, sur 10 couples.

TABLEAU 25

Liaison entre l'hydrogène échangeable et les fractions granulométriques fines : coefficients de corrélation et leurs niveaux de signification

Stations		I	II	III	IV
0-2 μ x	H ₃	0.202	0.767 xx	0.732 x	— 0.199 —
H ⁺ éch.	H ₄	0.099	0.191 —	0.719 x	— 0.122 —
0-10 μ x	H ₃	0.259	0.787 xx	0.657	0.093
H ⁺ éch.	H ₄	0.158	0.229	0.565	— 0.078 —

3. — CONCLUSIONS

L'examen du tableau 25 suggère l'existence d'une liaison positive, significative dans certains cas, entre l'hydrogène échangeable et les fractions granulométriques fines. Pour les horizons supérieurs, l'hydrogène échangeable est en relation étroite avec la quantité de matière organique, caractérisée par le pourcentage de carbone : dans les horizons minéraux, cette dernière relation semble beaucoup plus lâche, et significative dans un cas seulement [Cf. (12), p. 106]. L'hydrogène échangeable serait donc en relation dans les horizons minéraux, à la

fois avec les colloïdes organiques et avec les colloïdes minéraux. D'autres facteurs peuvent aussi intervenir.

Notons d'autre part qu'il n'existe pas de différence sensible entre les fractions 0-2 μ . et 0-10 μ . au point de vue de leur liaison avec l'hydrogène échangeable.

III. — ETUDE NON-PARAMETRIQUE DE LA LIAISON STOCHASTIQUE

1. — METHODE

La méthode employée est basée sur un test proposé par H. B. MANN pour mettre en évidence l'existence de tendances (14). Ce test a été considéré par P. DE MÜNTER (2), (4). Nous en exposerons brièvement le principe.

Soient $x_1, \dots, x_n$ les résultats d'une détermination analytique (par exemple, le pourcentage de la fraction 0-10 μ), classés par ordre croissant : et $y_1, \dots, y_n$ les valeurs correspondantes d'une autre détermination analytique dont on veut étudier la liaison avec la première (par exemple, le pH d'échange).

Pour l'horizon 3 de la station IV, on a :

0-10 μ	pH.KCl
$x_1 = 38.54$	$y_1 = 4.15$
39.11	3.88
39.37	3.90
40.82	4.00
40.95	3.98
41.92	3.79
43.45	3.70
43.78	3.65
45.02	3.41
$x_n = 47.10$	$y_n = 3.72$

La tendance que le test de MANN peut mettre en évidence, est dans le cas présent une tendance à avoir un ordre décroissant des valeurs du pH d'échange parallèlement à l'ordre croissant de la fraction 0-10 μ . Le résultat des calculs s'exprime par un nombre L défini comme suit :

$$L = \frac{U - U_0}{\sigma_U}, \quad U \text{ étant le nombre de couples } (y_i, y_j) \text{ tels que } y_i < y_j$$

lorsque $i < j$, U_0 étant la moyenne de U et σ_U son écart-type. La variable réduite L est distribuée approximativement selon la loi normale. La liaison stochastique est significative si $|L| > \lambda_{\alpha}$, λ_{α} étant la valeur de la distribution normale correspondant au seuil de signification $\alpha\%$.

Dans l'exemple choisi, $U = 8$, $U_0 = 22.5$, $\sigma_U = 5.59$ et $L = -2.59$. La liaison stochastique est hautement significative et négative : les variations de x et de y se font en sens inverse.

2. — RESULTATS

a) La méthode a été appliquée pour les horizons 3 et 4 de chaque station aux huit relations envisagées. Le tableau 26 groupe les valeurs atteintes par la variable L, et leurs seuils de signification.

b) La même méthode a été appliquée en groupant en un seul échantillon les données des horizons 3 et 4, dans chacune des stations. Des résultats analogues à ceux du tableau 26 ont été obtenus.

TABLEAU 26

Valeurs atteintes et seuils de signification de la variable L, caractérisant la liaison stochastique entre l'acidité et les fractions granulométriques fines

Fractions		0-2 μ				0-10 μ			
Stations		I	II	III	IV	I	II	III	IV
Hydr. éch.	H ₃	1.16 —	2.06 x	1.25 —	—0.45 —	1.16 —	1.52 —	1.46 —	0.27 —
	H ₄	—0.62 —	0.09 —	3.31 xxx	—0.27 —	0.31 —	0.81 —	1.88 —	—0.09 —
pH H ₂ O	H ₃	0.09 —	0.45 —	—0.94 —	—1.43 —	—0.63 —	—0.09 —	—3.23 xx	—2.33 x
	H ₄	—0.42 —	—0.63 —	—2.42 x	—1.07 —	—1.35 —	0.27 —	—1.34 —	—1.97 x
pH KCl	H ₃	1.07 —	0.81 —	—0.73 —	—2.06 x	0.36 —	0.27 —	—2.19 x	—2.59 xx
	H ₄	—1.04 —	0.54 —	—1.25 —	—1.25 —	—1.56 —	0.72 —	0.36 —	—2.33 x
pH CaAc ₂	H ₃	0.63 —	0.81 —	—0.52 —	—0.81 —	—0.09 —	0.63 —	—1.98 x	—0.81 —
	H ₄	0.31 —	—0.54 —	—1.07 —	—0.36 —	—0.62 —	—0.18 —	—0.36 —	—0.54 —

3. — CONCLUSIONS

a) L'interprétation des résultats tels qu'ils sont présentés dans le tableau 26 est délicate. On peut faire les remarques suivantes :

— Pour l'hydrogène échangeable, les résultats de la méthode non-paramétrique sont comparables à ceux obtenus par le calcul des coefficients de corrélation.

— Pour les trois déterminations de pH, la liaison est plus étroite dans les stations III et IV, et elle est négative. Dans les stations I et II, les résultats sont très variables.

b) Afin de mieux faire ressortir l'existence d'une liaison stochastique, nous avons groupé les valeurs de L dans les stations à mull (I et II) d'une part, à mor (III et IV) d'autre part. Le tableau 27 donne les niveaux de signification de la liaison dans chaque groupe de stations pour les horizons inférieurs.

TABLEAU 27

Niveau de signification de la liaison stochastique entre le pH et les fractions granulométriques fines, dans les horizons inférieurs de 2 groupes de stations

Fractions	0-2 μ		0-10 μ	
Stations à	mull	mor	mull	mor
Hydr. échang.	—	—	—	—
pH.H ₂ O	—	xx	—	xxx
pH.KCl	—	xx	—	xxx
pH.CaAc ₂	—	—	—	—

c) Pour les relations 0-2 μ x hydrogène échangeable et 0-10 μ x hydrogène échangeable, la moyenne de la variable L , calculée pour l'ensemble des quatre stations et des horizons 3 et 4, est significativement différente de 0.

IV. — RESUME ET CONCLUSIONS

1° La liaison entre l'hydrogène échangeable et les fractions granulométriques fines a été étudiée par le coefficient de corrélation et par une méthode non-paramétrique basée sur le test de MANN. Seule cette seconde méthode a été appliquée à l'étude de la relation entre les trois formes de pH et les résultats de l'analyse granulométrique.

2° Hydrogène échangeable

Il existe une liaison significative quoique relativement lâche entre cette caractéristique d'acidité et les fractions granulométriques fines, pour l'ensemble des quatre stations, ainsi que dans certaines stations et dans certains horizons en particulier. Cette liaison est positive : les variations de l'hydrogène échangeable se font en moyenne dans le même sens que les variations de l'argile (0-2 μ) ou de la fraction argilo-limoneuse (0-10 μ). Le type de cette liaison (linéaire ou curvilinéaire ; quadratique, cubique ou exponentielle) n'est pas mis en évidence.

3° pH.H₂O et pH.KCl

La méthode utilisée souligne le haut niveau de signification de la liaison entre le pH à l'eau ou le pH d'échange d'une part, les fractions 0-2 μ ou 0-10 μ d'autre part, dans les horizons minéraux des stations dégradées, dites à mor. La liaison est ici négative: le pH est en moyenne

plus faible dans les profils riches en argile et en limon, et vice-versa. Dans les stations à mull, aucune liaison significative n'a été mise en évidence par le test de MANN.

Ces phénomènes qui paraissent à première vue étonnants peuvent s'expliquer assez aisément : l'acidification du sol s'étend en profondeur plus facilement dans les zones moins argileuses, où la circulation de l'eau et de l'air, et l'activité biologique sont plus importantes. Dans les stations en voie de dégradation ou dégradées, l'activité biologique est plus fortement localisée dans les horizons superficiels, et en profondeur, l'acidification est plus étroitement liée à la texture.

4° $pH.CaAc_2$

Une liaison analogue à celle décrite ci-dessus pour le pH à l'eau et le pH d'échange semble exister. Toutefois, cette liaison est plus difficile à mettre en évidence et paraît moins précise.

5° Fraction 0-2 μ ou 0-10 μ

L'ensemble des recherches effectuées ne permet pas d'affirmer qu'une des deux fractions texturales ensisagées est en relation plus étroite que l'autre avec les diverses formes de pH et avec l'hydrogène échangeable.

CONCLUSIONS GENERALES

1. — RESULTATS ACQUIS

Cette analyse statistique complémentaire apporte quelques connaissances supplémentaires relatives aux sols forestiers ardennais, notamment en précisant les différences d'humification (C/N) et de texture enregistrées entre les diverses stations, ou encore en explicitant la relation entre l'acidité et la texture des horizons minéraux. Mais c'est dans le cadre de l'enquête préliminaire, définie par M. MANIL comme but principal de l'étude entreprise, que le travail présenté aujourd'hui s'intègre le mieux. Nous avons en effet voulu confronter les conditions nécessaires à l'application valable de certaines méthodes statistiques et les conditions imposées par le milieu édaphique.

2. — APPLICATION DES METHODES STATISTIQUES

Il résulte de l'ensemble du travail que les tests non-paramétriques sont souvent mieux adaptés que les tests paramétriques à l'étude de résultats d'analyses pédologiques. Dans le cas où des tests paramétriques sont utilisés, il est indispensable de vérifier préalablement si les hypothèses fondamentales sont émises à bon escient et, éventuellement, de comparer les conditions réelles d'application à ces hypothèses. Les résultats de l'analyse statistique seront interprétés en fonction des renseignements fournis par cette première comparaison.

Avant d'entreprendre une étude statistique plus étendue des sols forestiers ardennais, il serait également nécessaire de vérifier l'existence ou l'absence de tendances à l'intérieur de stations de un ou deux ares, donc à relativement petite échelle. On pourrait ainsi vérifier le caractère aléatoire et simple des échantillons prélevés.

Moyennant ces deux conditions, la méthode statistique paraît adaptée, si pas indispensable, au dépouillement des résultats éminemment variables provenant des analyses pédologiques, spécialement pour les sols ardennais qu'il est difficile de distinguer l'un de l'autre par un petit nombre d'analyses. Les connaissances actuelles de la variabilité du milieu édaphique seront avantageusement utilisées lors de recherches ultérieures, notamment en ce qui concerne le plan d'échantillonnage et la relation entre la précision et le nombre de déterminations.

3. — TYPES D'HUMIFICATION

A plusieurs reprises, l'accent a été mis sur la similitude entre les stations I et II et entre les stations III et IV. Ces deux groupes de stations sont particulièrement bien définis par leurs types d'humification : stations I et II à mull, mull acide de vers et moder d'arthropodes (11) ; stations III et IV à mor. La quantité (C, N) et la qualité de la matière (C/N) subissent d'un groupe à l'autre des modifications importantes de moyenne et de variance. Cette remarque s'étend d'ailleurs aux trois formes de pH [Cf. (12), pp. 53 à 57] et à l'hydrogène échangeable.

La distinction entre types d'humification est fondamentale pour la classification des hêtraies et de leurs types de sols. Il existe en effet un parallélisme frappant entre l'évolution de la matière organique et de l'acidité, et la dégradation des sols forestiers sous hêtre, généralement en relation avec une dégradation de la structure: (1), (5), (9), (10), (12).

*
**

Nous espérons que notre étude aura contribué quelque peu à étendre la connaissance actuelle des sols forestiers ardennais, et, surtout, qu'elle facilitera l'étude ultérieure de ce vaste complexe pédologique.

BIBLIOGRAPHIE

1. BOUDRU, M. — Les forêts en Belgique. *Notes de cours*, Gembloux 1952.
2. DE MUNTER, P. — Application de tests statistiques paramétriques et non-paramétriques à quelques problèmes de climatologie. *Bull. Inst. agron. et Stat. Rech. Gembloux*, 20, 373-383, 1952.
3. DE MUNTER, P. — Tests non-paramétriques. *Bull. Soc. belge Stat.*, déc. 1953, 38-48.
4. DE MUNTER, P. — Consistance et impartialité des tests non-paramétriques. *Thèse*, Université libre de Bruxelles, 1954.

5. DUCHAUFOUR, Ph. — La dégradation de la structure des sols forestiers. *Rev. for. franç.*, 1953, 657-665.
6. FISHER, R. A. — Statistical methods for research workers. Oliver et Boyd, Londres (div. édit.)
ou — Les méthodes statistiques adaptées à la recherche scientifique (Trad. : Bertrand), Presses univ. de France, Paris 1947.
7. FISHER, R. A. et YATES, R. — Statistical tables for biological, agricultural and medical research. Oliver et Boyd, Londres (div. édit.).
8. KENDALL, M. G. — The advanced theory of statistics. Griffin et C^o, Londres 1947.
9. MANIL, G. — Considérations sur la pédologie forestière. *Bull. Soc. roy. for. Belg.*, 58, 164-174, 1951.
10. MANIL, G. — Pédologie générale. *Notes manuscrites*, Gembloux 1953.
11. MANIL, G. — Pédologie forestière. *Notes manuscrites*, Gembloux 1954.
12. MANIL, G., MARTIN, L., COLLIN, E., EVRARD, R. et GRUBER, R. — Les sols forestiers de l'Ardenne : le plateau de Saint-Hubert-Nassogne (Première étude). *Bull. Inst. agron. et Stat. Rech. Gembloux*, 21, 42-130, 1953.
13. MANIL, G. et AVRIL, P. — Quelques aspects du problème du pédoclimax en Haute-Ardenne belge. *C-R. Congrès intern. Botan. Paris, 1955*, section 13 (à paraître).
14. MANN, H. B. — Non parametric test against trend. *Econometrika*, 13, 245-259, 1945.
15. MARTIN, L. — Principes d'expérimentation et de biométrie. *Notes manuscrites*, Gembloux 1954.
16. MERRINGTON, M. et THOMPSON, C. — Tables of percentage points of the beta (F) distribution. *Biometrika*, 33, 73-88, 1943.
17. MOOD, A. — Introduction to the theory of statistics. Mc Graw Hill, New-York 1950.
18. NOIRFALISE, A. — Premier aperçu sur l'étage du hêtre et les types de hêtraies en Haute-Ardenne. *Bull. Inst. agron. et Stat. Rech. Gembloux*, 17, 76-100, 1948-1949 ou : *Centre Rech. écol. et phytosoc. Gembloux*, Comm. n° 10, 1950.
19. PECROT, A. et AVRIL, P. — Les sols ardennais : étude morphologique et génétique des sols bruns acides et des sols podzoliques de Saint-Hubert. *Bull. Inst. agron. et Stat. Rech. Gembloux*, 22, 52-75, 1954.
20. TIPPETT, L. H. C. — The methods of statistics. Wiley and Sons, New-York, 1952.
21. VESSEREAU, L. — Méthodes statistiques en biologie et en agronomie. Baillière, Paris 1948.

Influence des rayons ultra-violet sur le spectre d'absorption du l-tryptophane (*)

par

A. R. DESCHREIDER & M. RENARD

Introduction

Dans une étude relative à l'action des rayons ultra-violet sur le blé moulu, E. MAES (1) a signalé que ceux-ci avaient un effet favorable sur la valeur boulangère du froment, à condition toutefois d'effectuer le traitement sur le blé réduit en boulange.

De là à étudier leur action sur la farine il n'y avait qu'un pas et en 1951 E. MAES et M. BAUWEN (2) ont démontré que les changements provoqués dans la farine sous l'action des rayons ultra-violet se traduisent par une influence favorable sur les propriétés boulangères telles que augmentation de l'indice de Pelshenke et du W du Chopin, meilleur aspect des figures données par l'alvéographe et le farinographe, et enfin amélioration du volume des pains obtenus en partant de farine de qualité médiocre mais contenant un certain pourcentage de farine de même qualité traitée par les rayons ultra-violet.

Suite à ces travaux, nous avons entrepris d'essayer de mettre en évidence la nature chimique ou physique des modifications qui apparaissent par irradiation.

Nous avons préalablement étudié les changements qui se manifestent dans les extraits aqueux obtenus en partant de farines irradiées (3). Ils nous ont permis de conclure que le traitement d'une farine par les rayons ultra-violet

1°) Fait diminuer le pH, la viscosité, l'azote et le phosphore solubles des extraits aqueux. Cette diminution est fonction du temps d'exposition de la farine aux rayons. Le repos de la farine irradiée donne lieu à un phénomène de post exposition qui a comme résultat une nette accentuation des phénomènes observés ;

(*) Déposé à la rédaction le 17 mars 1955.

- 2°) Exalte les activités enzymatiques ;
- 3°) Diminue l'acidité de la graisse et augmente l'acidité des phosphates, ces deux actions sont également fonction du temps d'irradiation ;
- 4°) A pour effet de provoquer une rétention des lipides, vraisemblablement par suite d'une combinaison avec les protides.

Etant donné que le gluten confère à la pâte ses propriétés plastiques et que ce dernier est constitué d'une vingtaine d'acides aminés, nous fûmes amenés à étudier l'action de ceux-ci sur l'indice Pelshenke et la panification (4), après les avoir irradiés par les rayons ultra-violets.

Cette étude nous a montré qu'une explication de l'amélioration de la valeur boulangère des farines sous l'action des radiations ultra-violettes réside dans les changements que subissent les acides aminés. Parmi ces derniers, ce sont principalement ceux du groupe du soufre qui sont responsables mais il n'est pas exclu que d'autres acides aminés, principalement les acides aromatiques, ne jouent également un rôle.

Si l'on examine les chromatogrammes sur papier (phénol-eau) et la fluorescence (5) de la plupart des acides aminés présents dans le gluten on remarque pour certains une modification des valeurs des Rf, de l'aspect des solutions et de la fluorescence.

N'ont pas leur Rf modifié : la dl-phénylalanine, la β -alanine, la dl-norleucine, la l-leucine, la dl-isoleucine, la dl-valine, la l-cystéine, l'acide glutamique, la glycine et la dl-alanine. La tache obtenue après le développement à la ninhydrine de bleu ardoise pour la β -alanine, devient pourpre après irradiation. La solution de l-leucine devient légèrement jaunâtre, de même celle de la l-cystéine qui dégage une odeur putride, celle de la phénylalanine devient brun très foncé et dégage une odeur typique.

Parmi les acides aminés dont le Rf change de valeur, on trouve le tryptophane dont le Rf passe de 0,78 à 0,89, sa solution devient brune et dégage une odeur rappelant celle du geraniol. Le Rf de l'arginine passe de 0,82 à 0,88. De plus pour le tryptophane, la tache obtenue avec la ninhydrine sur le chromatogramme, n'est plus pourpre mais jaune brun.

Enfin en ce qui concerne les acides aminés soufrés on constate que leur Rf diminue, celui de la méthionine tombe de 0,79 à 0,1 et les deux taches obtenues pour le chlorhydrate de cystéine à Rf 0,26 et 0,67, font place à une seule tache située à Rf 0,06.

On voit donc qu'une solution de tryptophane subit des modifications profondes non seulement dans l'aspect de sa solution, mais également dans la position et la couleur des taches obtenues sur un chromatogramme phénol-eau.

La présence de cet acide aminé dans la farine, son importance dans l'alimentation humaine et les premières constatations relevées sur les

chromatogrammes après irradiation, ont amené à approfondir le problème de l'irradiation ultra-violette des farines et à pousser plus avant l'étude de l'action de l'ultra-violet sur le l-tryptophane.

I. — LE SPECTRE ULTRA-VIOLET DU TRYPTOPHANE

Le tryptophane est un des rares constituants des protéines qui possède un spectre d'absorption caractéristique, pour des longueurs d'ondes allant de 240 mμ à 310 mμ. La modification de ce spectre, sous l'action des rayons ultra-violets, est un des moyens très sensibles qui nous ont permis de suivre l'évolution des changements qui se manifestent dans la molécule de l'acide aminé, au cours de l'irradiation.

Nous avons utilisé pour nos essais le l-tryptophane préparé par la Nutritional Biochemicals Corporation. Les spectres d'absorption ont été relevés à 20°C ($\pm 1^\circ\text{C}$) à l'aide du spectrophotomètre de Beckman à

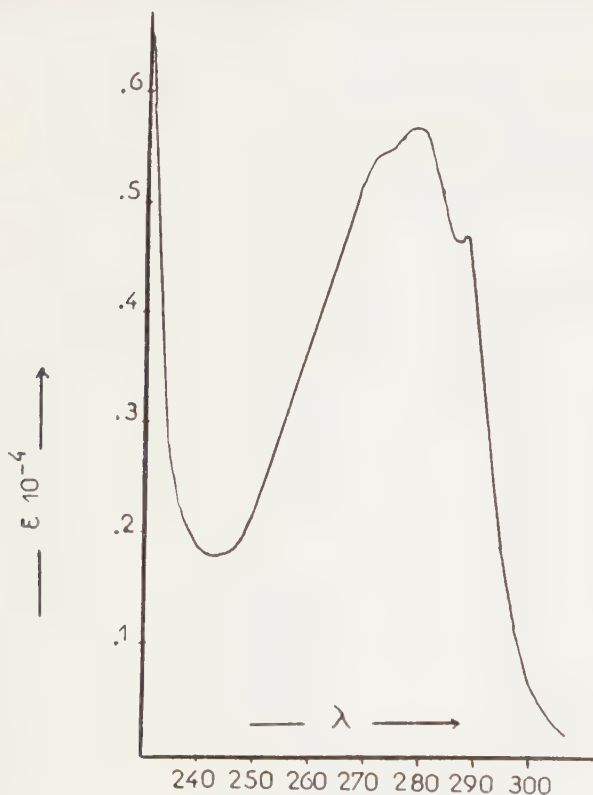


FIGURE 1

Le spectre d'absorption du l-tryptophane en milieu aqueux.

Source : Ministère des Affaires Economiques, Laboratoire Central.

optique de quartz les solutions étant placées dans des cuvettes de silice de 1 cm d'épaisseur. Les endroits caractéristiques des spectres ont été mesurés tous les 1 m μ . La concentration en l-tryptophane était toujours, au moment des mesures, de 1.10^{-4} M dans l'eau bidistillée.

L'examen de la courbe de la fig. 1, montre l'existence de trois bandes d'absorption, situées respectivement à 272 m μ , 278 m μ et 287 m μ . La plupart des courbes données par les auteurs ne signalent l'existence que des bandes 280 m μ et 289 m μ . Nos relevés du spectre du l-tryptophane apportent la vérification de l'existence de la bande 272 m μ renseignée par C. FROMAGEOT et G. SCHNEK (6), RAPPORT et al. (7) et EDWARDS B. G. (8).

C'est sur les modifications observées pour ces trois bandes sous l'action des rayons ultra-violets, que portent nos premières recherches.

II. — ACTION DES RAYONS ULTRA-VIOLETS SUR LE SPECTRE D'ABSORPTION

1°) CHOIX DU TYPE DE LAMPE

Le premier point qu'il importait de fixer, est le genre de lampe dont les radiations émises ont l'action la plus marquée sur la molécule de l-tryptophane.

Cette action a été vérifiée non seulement en examinant l'allure du spectre d'absorption dans l'ultra-violet, mais également en suivant la disparition du tryptophane dans la solution irradiée. La destruction de l'acide aminé a été mise en évidence par la mesure de l'intensité de coloration de la réaction entre le tryptophane et la p-diméthylaminobenzaldéhyde (méthode de BATES) (9).

On a essayé la lampe à vapeurs de mercure Hanau, à cathode chaude, avec et sans filtre de Wood et la lampe à cathode froide Sunkraft. Cette dernière émettant principalement l'ultra-violet de 2537 Å : elle avait une énergie de 10.000 microwatts par cm² à la surface du tube de quartz.

Les solutions irradiées étaient de concentration 1.10^{-2} M. Dans le cas de la lampe Hanau, 10 ml de la solution étaient placés dans une plaque de Petri refroidie par de la glace. Quant aux essais avec la lampe à cathode froide, les 10 ml de la solution se trouvaient dans une cuvette de verre semi-cylindrique ; le tube de quartz irradiant la surface de la solution répartie sur 40 cm².

Peu de changements sont observés avec la lampe Hanau, alors que pour des concentrations, des temps et des distances identiques le spectre d'absorption est profondément modifié par l'irradiation à l'aide de la lampe à cathode froide, de plus la réaction à l'aide de la p-diméthylaminobenzaldéhyde devient négative.

Ce sont donc les radiations de longueurs d'ondes inférieures à 300 m μ , et particulièrement celle de 2537 Å, qui ont une action dénaturante sur la molécule de l-tryptophane. C'est le type de lampe émettant cette radiation que nous avons choisi pour effectuer la présente étude.

2°) MODIFICATIONS DU SPECTRE D'ABSORPTION EN FONCTION DE LA DILUTION ET DE LA DISTANCE DE LA SOURCE IRRADIANTE A LA SURFACE IRRADIEE

Nous avons irradié 10 ml d'une solution 1.10^{-2} M de l-tryptophane, en plaçant la lampe d'une part à 30 cm de la surface du liquide et d'autre part en plaçant le tube de quartz à 2 cm de la surface.

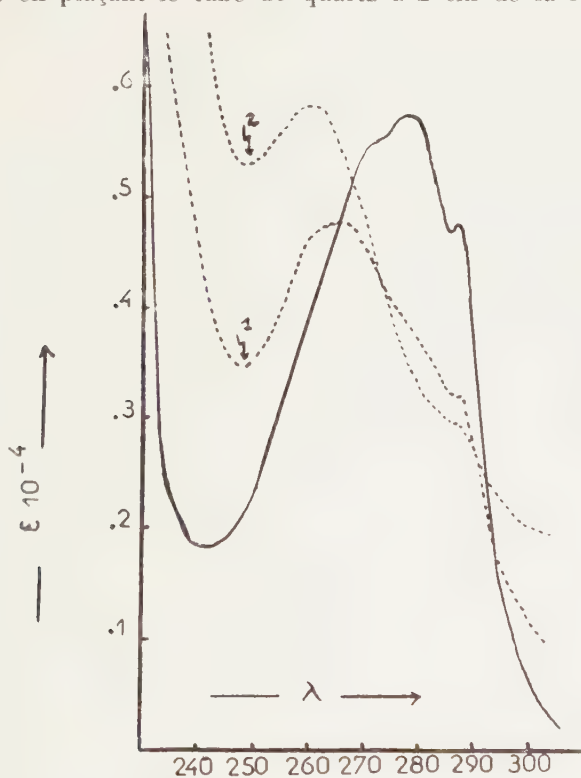


FIGURE 2
Modifications du spectre du l-tryptophane
en fonction de la distance de la source irradiante.

Courbe 1 — distance de 30 cm.
Courbe 2 — distance de 2 cm.

Concentration de la solution irradiée = 10^{-2} M
Temps d'irradiation = 60 minutes.

Source : Ministère des Affaires Economiques, Laboratoire Central.

La figure 2 donne les spectres dans l'ultra-violet, obtenus après 60 minutes de traitement.

La courbe n° 1 est obtenue à 30 cm et la courbe n° 2 à 2 cm de distance.

On remarque une forte augmentation de l'absorption de l'ultra-violet de 230 à 250 m μ , un maximum d'absorption à 260 m μ et un palier s'étendant de 300 m μ à 320 m μ , suivi d'une décroissance graduelle de la courbe jusqu'à 400 m μ .

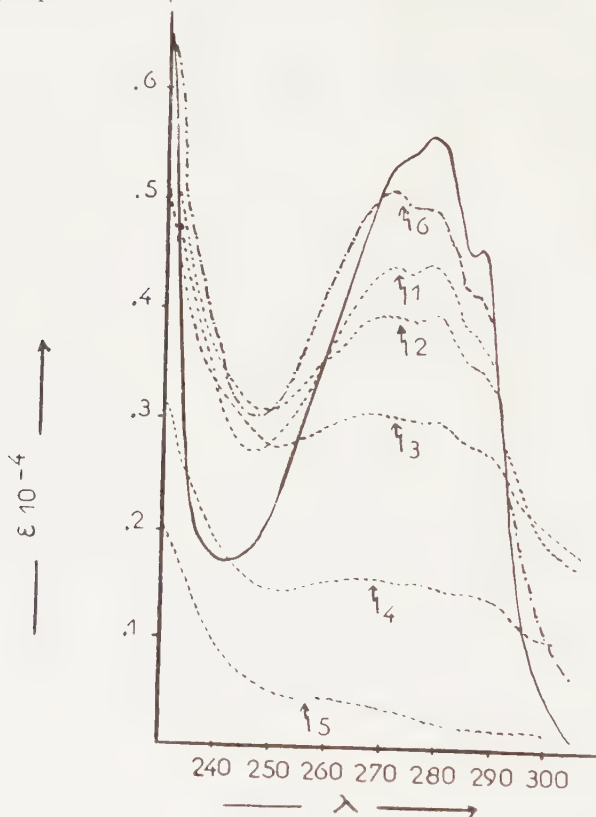


FIGURE 3

Modifications du spectre du L-tryptophane en fonction de la concentration.

Courbe 6	— Concentration 10^{-2} M	— temps d'exposition 15'
Courbe 5	— Concentration 10^{-4} M	— temps d'exposition 15'
Courbe 4	— idem.	— temps d'exposition 7,5'
Courbe 3	— idem.	— temps d'exposition 5'
Courbe 2	— idem.	— temps d'exposition 2,5'
Courbe 1	— idem.	— temps d'exposition 1,25'

Distance de la source irradiante : 2 cm.

Source : Ministère des Affaires Economiques, Laboratoire Central.

Il s'est donc formé un nouveau corps caractérisé par une courbe d'absorption dont le maximum est situé vers 260 m μ . Le changement est beaucoup plus accusé lorsque la distance de la source lumineuse au liquide est raccourcie. La dénaturation est donc directement fonction de la distance et la loi du carré des distances est d'application. On voit que si la distance diminue la dénaturation s'effectue dans le même sens, c.-à-d. qu'elle donne naissance à des spectres dont l'allure générale est la même. Il n'en va plus de même lorsqu'on examine l'action des rayons ultra-violets en fonction de la concentration.

En effet, sur la fig. 3 sont représentés les spectres obtenus après irradiation d'une solution de l-tryptophane de concentration 1.10^{-4} M. L'allure de ces spectres d'absorption est toute différente de celle obtenue pour la concentration 1.10^{-2} M (fig. 2).

Les courbes n^{os} 1, 2, 3, 4 et 5 sont respectivement les spectres obtenus après 1 $\frac{1}{4}$, 2 $\frac{1}{2}$, 5, 7 $\frac{1}{2}$ et 15 minutes de traitement.

Après $\frac{1}{4}$ d'heure, il n'existe pratiquement plus de spectre d'absorption, on a atteint la dégradation totale, alors qu'après ce même temps d'irradiation, une solution 1.10^{-2} M ne donne qu'un spectre légèrement modifié (courbe n^o 6), ce ne sera qu'après plusieurs heures que l'on arrive à obtenir la disparition totale d'un spectre d'absorption à cette concentration.

Notons également qu'une solution 1.10^{-4} M passe à la dégradation totale en 15 minutes, sans modifications visuelles perceptibles, alors que, comme nous le verrons plus loin, une solution 1.10^{-2} M passe par des variations d'aspect bien définies. La destruction totale du tryptophane n'étant atteinte qu'après de nombreuses heures.

Il semble donc qu'en milieu très dilué, la dénaturation se fasse à une vitesse qui ne permet pas de saisir les termes intermédiaires.

3^o) LES VARIATIONS

DU SPECTRE D'ABSORPTION EN FONCTION DU TEMPS D'IRRADIATION

Après avoir fixé le type de lampe irradiante, la concentration des solutions de l-tryptophane et la distance entre la source lumineuse et la surface de la solution, nous avons suivi l'évolution du spectre d'absorption en fonction du temps d'irradiation. Celle-ci a été poursuivie jusqu'à ce que la solution qui brunit et se trouble sous l'action des ultra-violets soit redevenue claire. A ce moment, qui se situe vers 16 heures de traitement, la solution est optiquement vide. Les mesures du spectrophotomètre ont été effectuées sur les solutions filtrées.

La fig. 4 montre l'évolution du spectre ultra-violet du l-tryptophane après $\frac{1}{2}$, 1, 2, 3, 5, 8, 12 et 16 heures d'irradiation.

Après $\frac{1}{2}$ heure les bandes 272 m μ et 279 m μ ont disparu, l'épaulement à 287 m μ persiste encore. Le creux situé à 242 m μ s'est déplacé vers

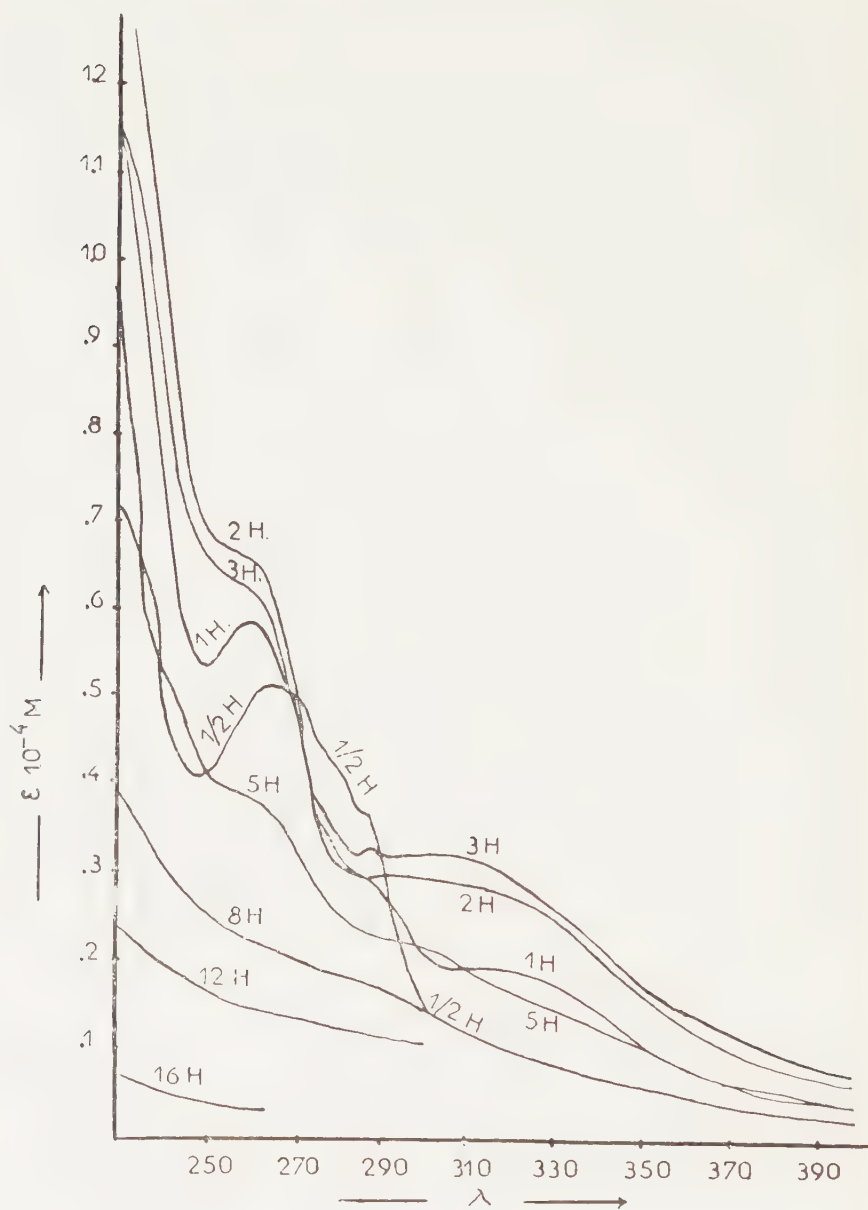


FIGURE 4

Variations du spectre d'absorption du L-tryptophane en fonction du temps d'irradiation.

Concentration de la solution = 10^{-2} M

Distance de la source U. V. = 2 cm.

Source : Ministère des Affaires Économiques, Laboratoire Central.

250 m μ , l'absorption dans cette région du spectre a fortement augmenté de valeur. Un maximum d'absorption à 260 m μ apparaît.

Après 1 heure, on obtient un spectre d'absorption typique, indiquant la formation d'un corps nouveau par transformation du noyau aromatique dont le spectre présentait un maximum d'absorption à 279 m μ . Ce maximum s'est déplacé vers 260 m μ . De plus à partir de 300 m μ il s'est formé un palier s'étendant jusqu'à 320 m μ , cette partie modifiée du spectre initial indique vraisemblablement le début de formation d'un second corps. Remarquons que l'absorption qui n'allait que jusqu'à 300 m μ pour le spectre initial s'étend à présent jusqu'à 400 m μ .

Après 2 heures d'irradiation l'absorption de l'ultra-violet de 230 m μ à 260 m μ atteint sa valeur maximum.

On remarque que le corps dont le maximum d'absorption se situe à 260 m μ subit à son tour une dégradation, car au lieu d'un épaulement il s'est formé un palier allant de 250 m μ à 260 m μ , à ces longueurs d'ondes l'absorption est très prononcée. Un second palier s'étend de 286 m μ à 315 m μ .

Ce palier atteint une valeur d'absorption maximum après 3 heures d'irradiation.

A partir de ce temps d'exposition les spectres d'absorption cessent d'être caractéristiques.

Après 5 heures le palier 286 m μ — 315 m μ a disparu, seul subsiste celui de 250 m μ à 260 m μ , mais son absorption pour l'ultra-violet a fortement diminué.

Enfin à partir de 8 heures, les solutions de tryptophane ne montrent plus qu'une absorption allant en décroissant régulièrement de 230 m μ à 400 m μ . Cette absorption diminue de valeur pour être pratiquement nulle après 16 heures d'irradiation.

Il semble donc y avoir, sous l'action des rayons ultra-violet, formation de deux corps.

Le premier se forme entre 1 et 2 heures de traitement et se caractérise par un maximum d'absorption situé à 260 m μ et un palier allant de 285 à 315 m μ .

Le second se forme entre 5 et 8 heures et se caractérise par une absorption décroissante de 230 à 400 m μ .

L'examen des spectres montre nettement que ce dernier provient de la dénaturation ultérieure du corps responsable du spectre typique.

M. P. BUCHMA et C. E. MANOÏLOV (10) ont étudié l'influence des rayons ultra-violet sur des acides aminés à l'état sec. Utilisant le microscope à ultra-violet pour l'examen et une lampe à mercure à haute

pression pour l'irradiation, ils ont examiné l'absorption en sélectionnant les longueurs d'ondes 356, 313 et 280 - 250 m μ par des filtres.

Ils sont arrivés à la conclusion que le tryptophane possède une intensité d'absorption qui croît avec la durée de l'éclairement. Les résultats obtenus sont en effet les suivants :

	Longueurs d'Ondes		
	356 m μ	313 m μ	280-250 m μ
Avant irradiation	—	—	+
Après irradiation	$\pm$	+	+
(— transparent $\pm$ faible absorption + forte absorption)			

On voit que ces auteurs ont constaté que le tryptophane qui absorbe fortement pour 280-250 m μ est transparent pour 313 et 356 m μ , mais après irradiation il devient fortement absorbant pour 313 m μ et légèrement pour 356 m μ .

C'est également ce que nous observons pour l'irradiation des solutions 1.10^{-2} M et l'absorption renseignée par M. P. BUCHMA et al. correspond à la partie du spectre qui s'étend de 286 m μ à 400 m μ (voir fig. 4).

Il semble donc que la dénaturation du l-tryptophane, qui a lieu également lors d'une irradiation du produit sec, se fait selon le même processus que celui observé en milieu aqueux.

Ce fait est d'importance si l'on songe que nous avons surtout pour but d'étudier l'influence des rayons ultra-violetes sur la farine en général.

4°) RELATIONS ENTRE LES MODIFICATIONS DU SPECTRE D'ABSORPTION ET LES VARIATIONS DE pH DU MILIEU

Le tableau I donne les pH des solutions 1.10^{-2} M et 1.10^{-4} M en fonction du temps d'irradiation. Les mesures ont été effectuées avec un pH mètre à électrodes de verre et à 20°C.

Parallèlement à ces mesures nous avons mesuré le pH de l'eau bidistillée irradiée dans les mêmes conditions que le l-tryptophane.

Pour les deux concentrations le pH suit une allure similaire, il diminue puis remonte pour atteindre la neutralité. Il est nettement acide tant que l'on obtient une courbe spectrale et revient à sa valeur initiale lorsque les solutions ne présentent plus d'absorption dans l'ultra-violet.

L'eau bidistillée voit son pH inchangé sous l'action des rayons ultra-violetes par conséquent l'acidification des solutions est bien due à la présence de produits de dénaturation acides.

TABLEAU I

Variation du pH en fonction des temps d'irradiation

Temps d'irradiation	pH de l'eau bidistillée	pH des solutions 1.10^{-4} M	pH des solutions 1.10^{-2} M
0	6.42	6.46	6.77
75"	6.39	6.31	—
150"	6.50	6.05	—
5'	6.40	5.22	—
15'	6.40	5.25	5.79
30'	—	6.60	4.89
60'	—	6.51	4.52
2 h	—	6.95	4.07
3 h	—	7.10	3.89
6 h	—	6.90	3.75
9 h	—	—	4.43
16 h	—	—	6.40

Source : Ministère des Affaires Economiques, Laboratoire Central.

Signalons à ce propos que R. GUILLEMET (11) relate que le pH final de l'eau pure (distillée) irradiée n'est jamais supérieur au pH initial et lui est même toujours légèrement inférieur.

L'acidité est notable pour la concentration de 1.10^{-2} M, le pH tombant de 6.77 à 3.75. Dans ce cas on remarque que le pH minimum 3.75 coïncide avec la disparition du spectre caractéristique que l'on obtient après irradiation. L'apparition du maximum d'absorption situé à 260 m μ se marque par un pH de 4.52, et l'apparition du palier 286 m μ par un pH de 3.85.

On peut donc affirmer que les deux corps nouveaux qui se manifestent par l'apparition d'un spectre d'absorption typique sont acides. Cette acidité se maintient lorsqu'ils se dégradent à leur tour (voir courbe d'absorption après 8 h de la fig. 4) engendrant ainsi de nouveaux produits de dégradation acides.

Enfin lorsque la dénaturation a été poussée jusqu'à ce que la solution n'absorbe plus l'ultra-violet, le pH revient à une valeur voisine de la neutralité.

L'abaissement notable du pH des solutions irradiées de l-tryptophane nous a amené à rapprocher les spectres d'absorption obtenus de ceux renseignés par G. FLORENCE et al. (12) dans leurs travaux relatifs à l'action des rayons ultra-violets sur les protéines.

Ces auteurs ont utilisé des produits purs dissous dans de l'eau bidistillée à raison de 30 mg par litre ; 20 ml de solution étaient placés

dans une plaque de Pétri tarée, refroidie pendant l'irradiation au moyen d'une lampe GALLOIS type S 31, 115 volts, marchant 50 minutes avant l'exposition. La distance à la solution était de 50 cm et la perte d'eau était compensée, après exposition, par ajout de d'eau distillée. Les spectres ont été relevés aussi rapidement que possible après exposition, à l'aide du spectrophotomètre Jobin et Yvon.

Rappelons que nous avons irradié avec une lampe à cathode froide émettant l'onde 2537 Å et à 2 cm de distance.

Dans le cas qui nous occupe les concentrations de nos solutions étaient de l'ordre de 204 mg pour 100 ml, les spectres ont été mesurés immédiatement après irradiation, pour un pH de départ de 6.40.

Selon les auteurs l'intensité de l'attaque des rayons ultra-violetes sur la molécule de tryptophane est influencée par le pH des solutions et ils signalent qu'après 15 minutes d'exposition :

- à pH 6,8. Le spectre se relève entre 240 mμ et 250 mμ un léger relèvement s'observe au delà de 300 mμ ;
- à pH 7,6. Ces relèvements sont beaucoup plus accentués, mais l'allure générale entre 260 mμ et 290 mμ est toujours la même.
- à pH 11,7. Il y a destruction complète.

Or nous avons vu que le pH est nettement influencé par les produits de dégradation, même après 15 minutes d'irradiation de 6.40 il est tombé à 5,25, pour une solution 10^{-4} M. Il est bien évident qu'à la concentration à laquelle les auteurs ont opéré (environ $1,5 \cdot 10^{-4}$ M) le pH de départ de 6,8 aura varié pendant l'exposition et qu'il faut conclure avec prudence quant à l'influence du pH de départ sur la dénaturation : ce pH s'abaissant par formation de produits de dénaturation acides.

Les auteurs font remarquer que dans leurs expériences les solutions de tryptophane de pH 6,8 n'ont donné qu'un spectre d'absorption n'ayant subi que des modifications peu marquées.

Au contraire, dans nos travaux et pour des concentrations et pH presque similaires, nous avons constaté que, déjà après 2 1/2 minutes, le spectre est totalement modifié en ce sens qu'il y a un fort relèvement de l'absorption de 240 mμ à 250 mμ, abaissement de la région 270 mμ à 290 mμ avec formation d'un plateau et relèvement de la courbe après 290 mμ.

Si l'on prolonge l'irradiation durant 15 minutes il y a dislocation complète et disparition du spectre d'absorption.

Les modifications spectrales renseignées par ces auteurs peuvent s'assimiler à celles que nous avons obtenues avec une lampe Hanau sans filtre à 30 cm de la solution irradiée. Cette similitude, ainsi que la disparition du spectre que nous obtenons après irradiation à la longueur d'onde 2537 Å, prouvent que les divergences entre les spectres des

auteurs et les nôtres, sont dues au type de lampe utilisé dans les expériences. En effet, une lampe à cathode chaude utilisée sans filtre a un spectre dont les raies ultra-violettes sont principalement concentrées dans la région 3650-3854 Å et 3984 Å.

Cette comparaison confirme donc le fait que l'action dénaturante des rayons ultra-violetts sur les acides aminés est due, en ordre principal, à la longueur d'onde 2537 Å.

5°) RELATIONS ENTRE QUELQUES CHANGEMENTS OBSERVES, LE pH ET LE SPECTRE D'ABSORPTION

Lorsqu'on traite une solution 1.10^{-2} M de l-tryptophane par les rayons ultra-violetts 2537 Å, on remarque que la solution incolore et limpide devient jaune clair dès les premières minutes d'exposition. Cette coloration s'accroît et vire au brun-foncé. Une odeur, rappelant le géraniol, s'est développée.

C'est à ce moment que l'on obtient une modification maximum de la région du spectre d'absorption allant de 220 mμ à 260 mμ ainsi que le palier de 285 mμ à 315 mμ. Le pH atteint également à cet instant une valeur minima. La solution fort brune s'est troublée. L'odeur va en s'accroissant, il se forme un dépôt brunâtre pulvérulent sur le fond de la cuvette, le pH est toujours à sa valeur minima, on remarque la disparition des absorptions maxima du spectre.

Poursuivant l'exposition, le dépôt devient de plus en plus abondant, la coloration brune de la solution s'affaiblit, l'odeur ne persiste plus que faiblement. Le pH commence à remonter, le spectre d'absorption n'est plus qu'une courbe décroissante de 220 mμ à 400 mμ.

Puis on observe que le précipité devient moins abondant, la solution pâlit. Le pH toujours nettement acide est néanmoins plus élevé. L'odeur a complètement disparu, il n'y a pratiquement plus d'absorption dans l'ultra-violet.

Le précipité à son tour a presque disparu, le pH est voisin de 5,0, la solution est d'un brun beaucoup plus clair.

Enfin après une exposition d'environ 16 heures la solution irradiée est à nouveau incolore et limpide, son pH est voisin de la neutralité.

On remarque donc qu'il y a une nette dépendance entre les changements survenus dans la solution, les modifications spectrales et le pH, de plus il y a également des changements pour certaines réactions chimiques.

Ainsi la réaction caractéristique du l-tryptophane à la paradiméthylaminobenzaldéhyde est négative après deux heures d'irradiation. Il en va de même pour d'autres réactions qui deviennent soit négatives ou qui donnent une réponse différente de celle obtenue avec le témoin.

Le Nitrate d'Argent

Si à une solution irradiée de tryptophane, on ajoute quelques gouttes d'une solution de nitrate d'argent N 10 on observe la formation d'un trouble qui par repos prolongé donne lieu au dépôt d'un précipité floconneux brun.

Le tryptophane non traité reste limpide.

L'eau de Brome

La réaction de NEUBERG (13) consiste à ajouter prudemment à la solution à examiner, de l'eau de brome goutte à goutte jusqu'à ce qu'il y ait un très léger excès. En présence de tryptophane il se produit une coloration violette, qui, lorsqu'on acidifie la solution par l'acide acétique, peut être extraite par l'acétate d'éthyle.

Le témoin traité de cette manière donne une couche d'acétate d'éthyle de coloration violette. Si par contre on opère de la même façon sur les solutions irradiées, l'intensité de coloration va en s'affaiblissant pour disparaître entre 1 et 2 heures d'exposition. Par contre à ce moment l'acétate d'éthyle s'est coloré en jaune foncé, indiquant la formation d'un nouveau corps.

Cette coloration jaune s'affaiblit à son tour, la couche d'acétate d'éthyle reste incolore, ce qui correspond à la disparition de l'absorption dans l'ultra-violet.

L'acide Glyoxylique

C'est la réaction de HOPKINS-COLE-WINKLER (14-15).

En présence de l-tryptophane l'acide glyoxylique donne une coloration bleu-violette. Le β -méthyl-indol donne, avec ce réactif, une coloration pourpre.

Appliquée à nos essais, le témoin donne une coloration nettement bleu-violet. Après exposition aux rayons ultra-violet, la coloration est brun pourpre, elle passe ensuite au brun clair et finalement au jaune.

Les changements observés pour ces quelques réactions impliquent la formation de corps nouveaux réagissant de façons différentes. Ils coïncident avec les modifications du spectre d'absorption, ainsi qu'avec les variations visuelles.

Ce travail sera poursuivi par l'étude de la nature des produits de dégradation issus du tryptophane sous l'action des rayons ultra-violets.

RESUME

Le tryptophane en milieu aqueux possède dans l'ultra-violet un spectre d'absorption caractéristique. L'irradiation d'une solution de cet acide-aminé a comme effet de modifier profondément le spectre. L'évolution des modifications est fonction du temps d'irradiation et indique la formation de divers composés.

Le présent travail relate les changements subis par le spectre d'absorption ainsi que les relations existant entre ceux-ci et certaines réactions chimiques.

SUMMARY

Aqueous solutions of l-tryptophan present a characteristic ultra-violet absorption spectrum. The irradiation of a solution of this amino-acid results in a profound modification of its spectrum.

These changes, the amount of which is a function of the irradiation time, show that various compounds are produced.

The present paper studies the alterations undergone by the absorption spectrum and also the connection existing between them and various chemical reactions.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) E. MAES (1947) *Bul. Ec. Meun. Belge*, n° 24 — 9, 8.
- (2) E. MAES et M. BAUWEN (1951) *Bul. Ec. Meun. Belge*, n° 59 — 13, 14.
- (3) A. R. DESCHREIDER (1950) *Bul. Ec. Meun. Belge* 12, 117.
- (4) A. R. DESCHREIDER (1951) *Bul. Ec. Meun. Belge* 13, 36.
- (5) A. R. DESCHREIDER (1951) *Chim. An. Vol. 33* n° 11bis.
- (6) C. FROMAGEOT et G. SCHNEK (1950) *Bioch. Biophys. Acta* 6, 113.
- (7) M. M. RAPPORT, A. A. GREEN et I. H. PAGE (1948) *J. Biol. Chem.* 176, 1243.
- (8) B. G. EDWARDS (1949) *Arch. Biochem.* 21, 103.
- (9) R. W. BATES (1937) *J. Biol. Chem.* 119, *Proceedings VII*.
- (10) M. P. BUCHMA et C. E. MANOILOV (1949) *DOKLADY AKADEMIY NAUK S.S.S.R. (N.S.)* 69, L/II, 49.
- (11) R. GUILLEMET (1942) *Bul. Soc. Chim. Biol.* 24, 186.
- (12) G. FLORENCE, A. DRILHON et WANG DIEN-SIUNG (1939) *Bul. Soc. Chim. Biol.* 21, 298.
- (13) NEUBERG (1906) *Biochem. Z.* 2, 369 (1907) 6, 278 et (1910) 24, 423.
- (14) HOPKINS COLE, *J. Physiol.* (1901) 27, 418 et (1903) 29, 451.
- (15) S. WINKLER (1934) *Z. Physiol. Chem.* 228, 50.

Quelques considérations sur le dosage du magnésium par la méthode au jaune thiazol (*)

par

A. GOFFINET

L'hydroxyde de magnésium en présence de jaune thiazol donne lieu à une laque rouge dont l'absorption lumineuse est fonction du taux de magnésium présent dans la solution.

Cette laque est maintenue en suspension par un colloïde protecteur : l'alcool polyvinylique, recommandé par ELLIS (1), donne plus de reproductibilité et de sensibilité que l'empois d'amidon.

Afin de précipiter l'hydroxyde de magnésium colloïdal, on ajoute une forte dose de soude : 25cc. NaOH. 4N. dans 100cc.

En présence d'une telle alcalinité, les différences d'acidité des solutions à doser, provenant d'une évaporation plus ou moins forte de l'acide utilisé pour la mise en solution des cendres, sont sans effet sur l'intensité de la coloration.

Ce dosage du magnésium par le jaune thiazol est certes une méthode bien connue, elle est sûre et rapide pour les solutions pures de magnésium ; mais les cendres de végétaux constituent un milieu très complexe, où les interférences dans cette réaction seront nombreuses.

Il est possible d'éliminer certains ions ; le fer et le manganèse peuvent être précipités en présence d'une solution ammoniacale de chlorure ammonique ; l'excédent des sels ammoniacaux dans le filtrat est éliminé en évaporant à sec au bain marie et en chauffant au four à 450°.

Ces opérations sont longues, assez délicates, peuvent engendrer des erreurs, se prêtent mal aux dosages en série et n'éliminent que deux des ions gênants.

Les éliminer tous serait fastidieux.

(*) Déposé à la rédaction le 11 mars 1955.

Il fallait une technique plus rapide et cependant précise : YOUNG et GILL (2) proposent l'addition d'une solution complexe destinée à compenser l'action des ions gênants et comprenant des sulfates d'aluminium, de manganèse et de cuivre, du chlorure de calcium et du phosphate trisodique.

Le fer dont l'action est très importante n'est pas pris en considération par ces auteurs.

Nous n'avons pu reproduire leurs conclusions quant à la stabilité de la coloration en présence des doses indiquées.

Nous avons alors repris chacun des ions gênants et avons étudié leurs actions en cherchant à les compenser.

Technique des essais

Une certaine quantité de magnésium est introduite dans des ballons de 100 cc.

Une autre série de ballons servira de témoins.

On étudie l'action d'un ion gênant en ajoutant dans chaque série des quantités croissantes (portées en abscisses des courbes.)

On ajoute ensuite :

- 5 cc. de sucre à 5 % ;
- 10 cc. de chlorhydrate d'hydroxylamine à 1 % ;
- 10 cc. d'alcool polyvinylique à 2 % ;
- 10 cc. de jaune thiazol à 0,2 % — Secouer ;
- 25 cc. de soude 4N.

Les solutions sont ensuite portées à 100 cc. avec de l'eau et mélangées vigoureusement.

La coloration n'étant pas stable, les lectures sont faites après 15 minutes au spectrophotomètre Beckman (longueur d'onde 550 m μ), en prenant de l'eau distillée comme solution de comparaison.

Ces lectures sont portées en ordonnées dans les graphiques ; les courbes tracées donnent l'allure du phénomène.

Le jaune thiazol employé est le Titangelb Merck, n° 1307.

Manganèse

Le manganèse donne une coloration semblable à celle du magnésium. L'augmentation de coloration qu'il provoque est fonction de la quantité de magnésium présent : elle est moindre lorsque ce taux augmente. (Voir fig. 1.)

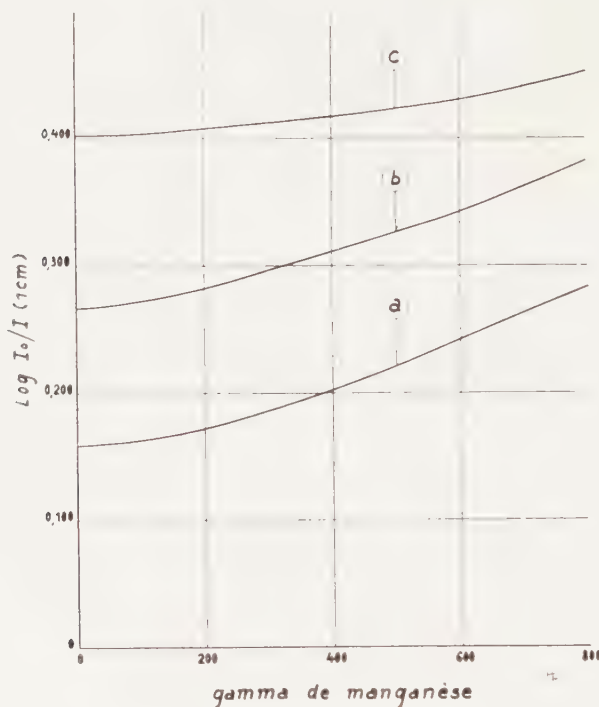


FIG. 1. Influence du manganèse.

- (a) courbe témoin
- (b) 105 gamma de magnésium
- (c) 263

Il en résulte que la différence des lectures d'une solution pure de magnésium et d'une solution témoin en présence de la même quantité de manganèse, diminue, lorsque celle-ci augmente : la sensibilité décroît donc.

Fer

Le fer affaiblit la coloration du complexe hydroxyde de magnésium-jaune thiazol ; cette action très importante au début, s'atténue lorsque la teneur en fer augmente.

Pour les hautes teneurs en fer, la courbe tend à se stabiliser.

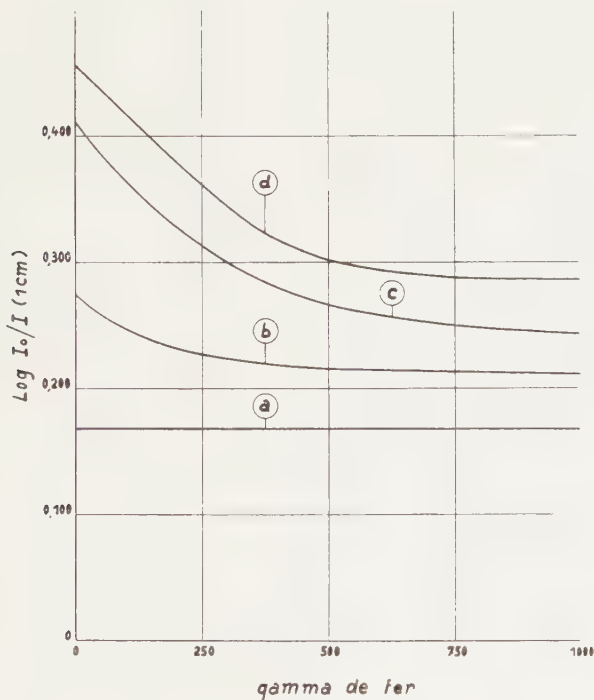


FIG. 2. — Influence du fer.

- (a) courbe témoin
- (b) 105 gamma de magnésium
- (c) 263 » »
- (d) 384 » »

Mais, la coloration du témoin n'étant pas influencée aux teneurs de fer telles que la courbe de magnésium s'aplatit, utiliser cette propriété réduirait fortement l'amplitude des lectures et par conséquent la sensibilité de la méthode. (Voir fig. 2.)

Phosphore

Cet élément réduit également la coloration du complexe : à partir d'une certaine teneur en phosphore cependant, la courbe de magnésium en présence de cet ion tend vers une droite horizontale.

La diminution de la coloration n'a pas été très importante, le seuil horizontal est suffisamment long : ces raisons et l'amplitude des varia-

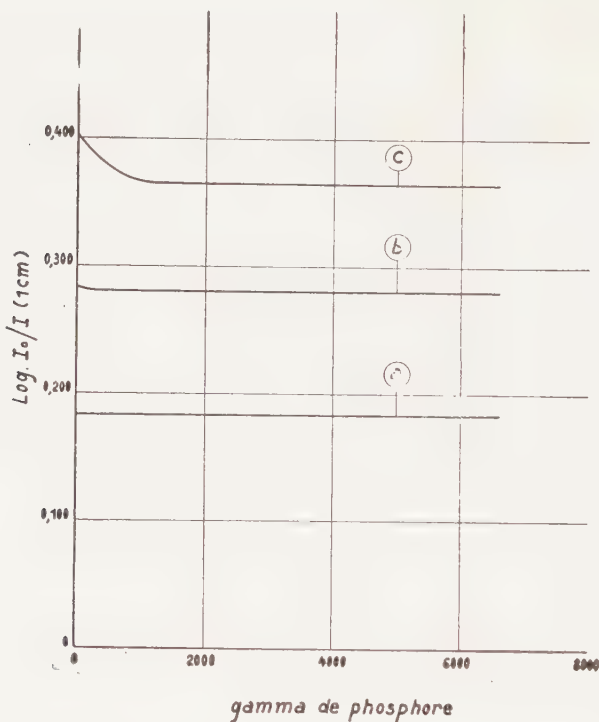


FIG. 3. — Influence du phosphore.

- (a) courbe témoin
- (b) 100 gamma de magnésium
- (c) 235 » »

tions des teneurs en phosphore dans les végétaux analysés font qu'en ajoutant à chaque solution 3 mgr de phosphore, on compensera l'action du phosphore de l'échantillon.

Le seuil horizontal s'est vérifié pour toutes les teneurs en magnésium. (Voir fig. 3.)

Cuivre

Lorsqu'à diverses quantités de magnésium on apporte des quantités croissantes de cuivre, la coloration du complexe magnésium-jaune thiazol diminue de nouveau, fortement au début, moins dans la suite.

Il serait vain cependant de vouloir stabiliser la coloration par de fortes quantités de cuivre, car si le témoin accuse aussi une diminution de coloration, elle est cependant moins prononcée.

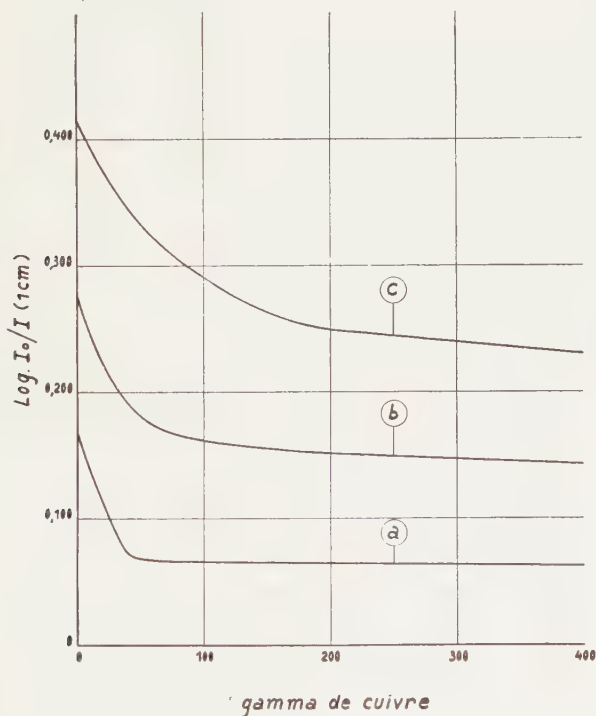


FIG. 4. — Influence du cuivre.

- (a) courbe témoin
- (b) 105 gamma de magnésium
- (c) 263 » »

D'ailleurs les produits végétaux sont pauvres en cuivre, l'action du cuivre présent est de peu d'importance.

Pour les échantillons plus riches, on en tiendra compte dans le calcul.

La figure 4 montre l'influence de grandes quantités de cet ion sur la coloration du complexe.

Calcium

Le graphique ci-dessous donne l'évolution des colorations de solutions de magnésium de teneurs différentes en présence de quantités croissantes de calcium.

Cette action a été étudiée en présence de 200 gamma de fer, 200 gamma de manganèse et 3 mgr de phosphore par solution. (Voir conclusions).

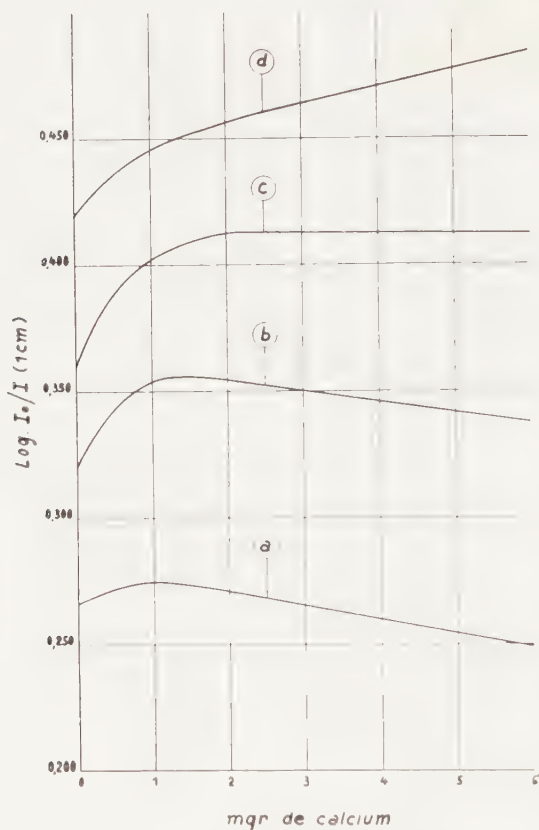


FIG. 5. — Influence du calcium.

- (a) 77 gamma de magnésium
- (b) 155 » »
- (c) 232 » »
- (d) 387 » »

Il est nécessaire d'ajouter à chaque essai 5 cc de sucrose à 5 % pour maintenir le colloïde en suspension.

Le calcium provoque un accroissement de la coloration suivi d'une diminution à partir d'un point d'autant plus vite atteint que la teneur en magnésium est plus faible. (Voir fig. 5.)

Conclusions

L'action des différents ions gênants ayant été étudiée, voyons maintenant comment y remédier.

Le manganèse donne une coloration semblable à celle du magnésium ; le fer affaiblit la coloration ; le calcium a une action différente selon la teneur du magnésium.

On neutralise leurs actions en portant la teneur des prises d'essai et de la solution témoin respectivement à : fer — 200 gamma, manganèse — 200 gamma, calcium — 6 mgr.

Ces ions ayant été dosés préalablement, des courbes nous donnent immédiatement les quantités de solution de ces sels à ajouter.

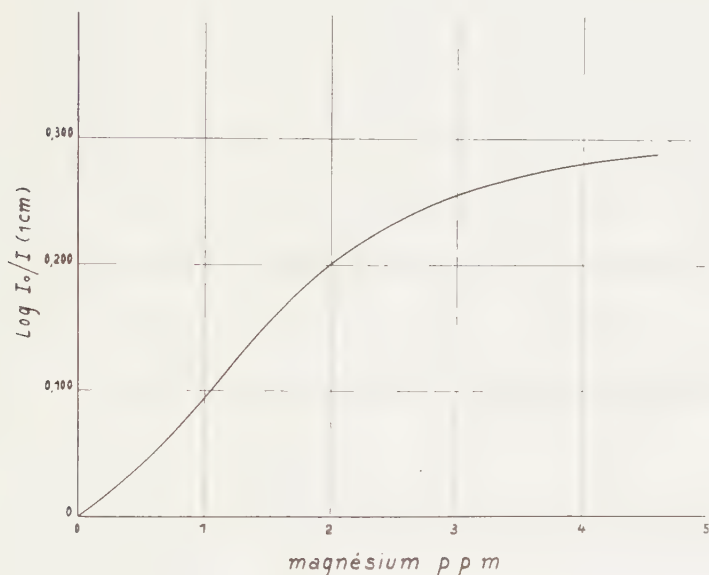


FIG. 6. — Courbe d'étalonnage.

Pour de rares échantillons très riches en fer, ce dernier est ajusté à 400 gamma, parfois même à 600 gamma ; des courbes spéciales sont construites.

Le phosphore en quantités croissantes provoque une diminution de la coloration, mais cette dernière reste stable à partir d'une certaine teneur ; en ajoutant à la prise d'essai 3 mgr de phosphore, on se trouve dans la zone où l'addition du phosphore de l'échantillon est sans action.

Une courbe étalon de magnésium est construite dans ces conditions : elle présente une forme spéciale : l'addition des 6 mgr de calcium réduit les lectures des faibles teneurs de magnésium et accroît les autres.

Au delà de 300 gamma de magnésium, la courbe s'aplatit et perd sa sensibilité. (Voir fig. 6.)

Le cuivre affaiblit également la coloration ; toutefois, les aliments analysés sont très pauvres en cet élément, de sorte que le cuivre présent a très peu d'influence. Pour annuler cette minime erreur, un graphique construit en prenant différentes quantités de magnésium en présence de quantités croissantes de cuivre permet de transformer une lecture trouvée en la lecture théorique correspondante (c'est-à-dire sans cuivre.)

Une solution pure de magnésium introduite dans chaque série de dosages, permet de se rendre compte si l'on se trouve dans les mêmes conditions que lors de l'établissement des courbes étalons.

Méthode proposée

A. Réactifs utilisés :

- 1) Acide nitrique
- 2) Acide perchlorique
- 3) Solution de fer à 20 gamma par cc
- 4) » de manganèse à 20 gamma par cc
- 5) » de calcium à 1 mgr par cc
- 6) Jaune thiazol : Titangelb Merck, n° 1307
 - a) solution concentrée à conserver au frigo : 0,5 % en solution alcoolique à 50 %
 - b) solution diluée à 0,2 %, à préparer pour chaque série de dosage
- 7) Solution de sucre à 5 %
- 8) Phosphate monopotassique
- 9) Chlorhydrate d'hydroxylamine
- 10) Alcool polyvinyle à 2 %.

On introduit 20 gr d'alcool polyvinyle en poudre dans un vase de Berlin de 600 cc :

On ajoute ensuite 400 cc d'eau distillée et on chauffe lentement jusque 85° en agitant mécaniquement :

Cette solution est alors transvasée dans un ballon d'un litre, portée au volume après refroidissement au frigo :

- 11) Soude 4N

12) Solution magnésienne obtenue par mise en solution de magnésium métallique.

B. Mode opératoire

La solution initiale est obtenue de la façon suivante :

10 grammes de matière sèche sont calcinés à 450° et mis en solution en présence d'acide nitrique et d'acide perchlorique à chaud.

Cette solution filtrée et portée à 250 cc est utilisée pour les différents dosages de minéraux.

Une certaine quantité de cette solution initiale (2 ou 5 cc sans dépasser 300 gamma de magnésium) est introduite dans un ballon de 100 cc.

On ajuste les teneurs des ions suivants respectivement à :

calcium: 6 mgr — manganèse: 200 gamma — fer: 200 gamma ou plus.

On ajoute ensuite dans l'ordre et sans arrêt dans les opérations :

1) 5 cc de sucrose à 5 %

2) 25 cc de la solution suivante préparée immédiatement avant l'emploi et contenant par litre :

4 gr de chlorhydrate d'hydroxylamine; 520 mgr de KH_2PO_4 , ou mieux, une quantité équivalente d'une solution de ce sel ; 400 cc d'alcool polyvinyle à 2 %

3) 10 cc de jaune thiazol à 2 % — Secouer

4) 25 cc de soude 4 N.

On porte au volume avec de l'eau et on mélange vigoureusement.

La lecture est faite après 15 minutes au spectrophotomètre Beckman (longueur d'onde 550 m μ).

Les lectures obtenues sont corrigées si la lecture trouvée pour la solution pure de magnésium diffère de celle donnée par la courbe étalon. Elles le sont ensuite éventuellement en fonction de la teneur en cuivre.

RESUME

Lorsqu'on dose le magnésium dans les cendres de végétaux par la méthode au jaune thiazol, les interférences d'autres ions dans la réaction sont nombreuses.

L'influence de ces ions gênants a été étudiée ; il est proposé une technique précise et rapide qui permet d'y remédier et se prête aux dosages en série.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) ELLIS, cité par Young et Gill (2).
- 2) H. Y. YOUNG et R. F. GILL, *Anal. Chem.* 23 - 751 - (1951).

Travail effectué à la Station de Recherches Zootechniques de Gembloux.
Directeur : Professeur L. HENNAUX.

Sous les auspices de l'Institut
pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie
et l'Agriculture. I.R.S.I.A.

COMITE NATIONAL POUR L'ETUDE DE LA CULTURE FRUITIERE
(I.R. S. I. A.)
EN COLLABORATION AVEC LA STATION DE RECHERCHES
POUR L'AMELIORATION DES PLANTES FRUITIERES ET MARAICHIERES

Recherche de l'influence de doses croissantes du même équilibre nutritif sur la composition minérale de divers organes du pommier, au cours d'un essai en plein champ (*)

par

A. LECRENIER, T. TRZCINSKI (1) et E. DERMINE

INTRODUCTION

Les essais relatés font partie d'un ensemble de recherches commencées en 1946 par la Ligue Pomologique pour la Défense du Fruit Belge, et poursuivies à partir de 1950 par le Comité National pour l'Etude de la Culture fruitière (subsidé par l'IRSIA). Ces recherches ont été effectuées avec la collaboration de la Station d'Amélioration des Plantes fruitières et maraîchères.

Les buts généraux de l'expérimentation étaient de :

- 1° comparer l'influence de diverses concentrations d'une même fumure ;
- 2° comparer différentes méthodes d'application des engrais ;
- 3° rechercher les besoins des vergers en éléments minéraux.

(*) Déposé à la rédaction le 15 mars 1955.

(1) La partie chimique de cet article a été faite par T. TRZCINSKI dans les laboratoires de la Station de Chimie et de Physique agricoles (Directeur : G. DEMORTIER) de 1947 à 1950, ensuite dans ceux de la Chaire de Botanique de l'Institut Agronomique (Professeur : A. WILLAM).

Le problème traité ci-dessous intéresse seulement le premier de ces points.

Les recherches ont été effectuées en partie dans des vergers commerciaux, en partie sur des arbres cultivés en vases de végétation (1). Seuls les essais en vergers commerciaux sont pris ici en considération. Il s'agit d'arbres à hautes-tiges, adultes, plantés dans de bonnes terres limoneuses. Ces vergers avaient reçu des fumures moyennes au cours des années précédant l'expérimentation: ils n'étaient donc vraisemblablement pas sous-alimentés.

Il convient aussi de signaler que les recherches envisagées avaient pour but primordial d'étudier le problème du diagnostic foliaire du pommier. Au moment de la mise sur pied des essais, aucune publication n'avait abordé ce problème. Depuis lors, divers auteurs étrangers ont apporté des contributions importantes sur cette question. Nous nous réservons cependant de tirer ultérieurement des conclusions à ce point de vue.

LE VERGER ET LA FUMURE

Les essais dont nous donnons les résultats dans cet article, ont été réalisés chez M. H. BEAUDUIN à Bléret (Waremmes), dans un verger de pommiers variété Gueule de Mouton (Keuleman) âgés de 35 ans environ au début de l'essai. Le verger d'essai a été subdivisé en 4 parcelles, chacune de 6 arbres occupant une surface de 1176 m²; sur les parcelles I, II et III, les engrais furent injectés dans le sol sous forme de solutions salines: sur la parcelle I bis, au contraire, les engrais furent appliqués en couverture sous forme de sels.

L'injection fut faite au moyen d'un pal monté sur un pulvérisateur à moteur. Les engrais, dissous préalablement dans de l'eau, étaient appliqués sous une pression de 25 à 30 kg à une profondeur de 40 à 50 cm: chaque arbre recevait au printemps, à la projection de l'extrémité de la couronne, 8 injections respectivement de 10, 20 ou 30 litres suivant la parcelle.

Les tableaux suivants indiquent les formes des engrais appliqués ainsi que les quantités d'éléments nutritifs.

(1) Cf l'article de LECRENIER, DERMINE et TRZCINSKI: « Contribution à l'étude de la nutrition du Pommier par un essai en vases de végétation », *Bull. Inst. Agron. Stat. Rech. Gembloux*, Tome XXI, n^{os} 3-4, p. 26-41, 1953.

Tableau n° 1
 NATURE DES ENGRAIS ET QUANTITES APPLIQUEES
 (8 injections annuelles par arbre — Surface de chaque parcelle 1.176 m²)

Année d'application des traitements	Concentrations salines des solutions injectées en v/v	Injection en litres de solutions salines			Couverture en kg d'engrais Dose I bis	Forme chimique et concentration des engrais appliqués
		Dose I	Dose II	Dose III		
1947	16,25	480	960	1.440	77.616	Nitrate de potasse 13-44 sulfate d'ammoniaque 20 phosphate d'ammoniaque 20-50
1948	14,9	360	720	1.080	53.896	Sulfate d'ammoniaque 20 phosphate d'ammoniaque 20-47,5 sulfate de potasse 48
1949	14,9	360	720	1.080	53.896	Sulfate d'ammoniaque 20 phosphate d'ammoniaque 18,5-47,5 sulfate de potasse 48
1950	19,6	480	960	1.440	94.080	Engrais rose S.B.A. 15-20-26 sulfate d'ammoniaque 20 sulfate de potasse 48
1951	19,6	480	960	1.440	94.080	Engrais rose S.B.A. 15-20-26 sulfate d'ammoniaque 20 sulfate de potasse 48
1952	19,6	480	960	1.440	94.080	Engrais rose S.B.A. 15-20-26 sulfate d'ammoniaque 20 sulfate de potasse 48

Tableau n° 2
 QUANTITES D'ELEMENTS NUTRITIFS (EN UNITES)
 APPLIQUEES PAR PARCELLE DE 6 ARBRES (1.176 m²)

Années	Doses I et I bis			Dose II			Dose III		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1947	11,70	9,41	24,06	23,39	18,82	48,12	35,09	28,22	72,18
1948	5,88	4,70	11,76	11,76	9,41	23,52	17,63	14,11	35,27
1949	5,73	4,70	11,76	11,46	9,41	23,52	17,19	14,11	35,27
1950	11,76	9,41	23,52	23,52	18,82	47,04	35,28	28,22	70,56
1951	11,76	9,41	23,52	23,52	18,82	47,04	35,28	28,22	70,56
1952	11,76	9,41	23,52	23,52	18,82	47,04	35,28	28,22	70,56

Tableau n° 3
 QUANTITES D'ELEMENTS NUTRITIFS (EN UNITES)
 RAMENEES A L'HECTARE DE VERGER

Années	Doses I et I bis			Dose II			Dose III		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1947	99,5	80	204,6	199	160	409,2	298,5	240	613,8
1948	50	40	100	100	80	200	149,2	120	299,9
1949	48,7	40	100	97,4	80	200	146,2	120	299,9
1950	100	80	200	200	160	400	300	240	600
1951	100	80	200	200	160	400	300	240	600
1952	100	80	200	200	160	400	300	240	600

L'ECHANTILLONNAGE

Lors du début des recherches en 1946 (1), nous ne possédions aucune information sur les méthodes d'échantillonnage de feuilles appliquées au pommier. Le diagnostic foliaire avait été étudié déjà pour diverses espèces ; cependant pour le pommier aucun auteur n'avait abordé cette question de façon systématique.

Le principe adopté pour les échantillonnages de 1947 et de 1948 fut de suivre l'évolution d'un bourgeon depuis la phase hibernale (stade A de FLECKINGER) jusqu'à la chute des feuilles. Tous les organes issus du bourgeon, quels'ils soient, ont été analysés au cours de ces deux premières années.

En pratique, nous avons choisi pour l'échantillonnage les bourgeons situés sur les pousses végétatives de l'année précédente, à l'exclusion des bourgeons terminaux. Suivant leur situation ces bourgeons ont donné

(1) Les auteurs n'ont pris connaissance que dans la suite de l'important travail de THOMAS, MACK AND FAGAN : Foliar Diagnosis : An Approach to the Control of the Nutrition of Apple Trees, *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, vol. 47, pp. 97-106, 1946.

naissance soit à des pousses végétatives, soit à des pousses fructifères, soit encore sont restés à l'état dormant. Tout ce matériel a été récolté en un seul échantillon.

A partir de mai 1947, nous avons également analysé la pousse végétative issue du bourgeon terminal. En 1948, seules ces pousses terminales ont été analysées, dans le but d'obtenir plus d'homogénéité dans les échantillons.

En 1949, les analyses ont porté sur les feuilles situées sur des grands rameaux comportant du bois de 1, 2 et 3 ans. Les résultats des deux premières années accusant peu de différence entre les organes de 1 an et de 2 ans, seule une analyse globale des feuilles a été faite. Le bois n'a plus été analysé.

Au cours de cette même année, une première tentative a été faite pour suivre l'évolution de la composition des fruits. Tout le matériel récolté a été prélevé à même hauteur dans la couronne et à même orientation.

En 1950, une étude plus approfondie de l'échantillonnage a été entreprise. Sur la base des recherches entreprises en France par MAUME et LAGATU sur la vigne, la question s'est posée de savoir si, pour le pommier comme pour la vigne, certaines feuilles, convenablement choisies, pouvaient constituer un matériel plus homogène, susceptible de mieux refléter les conditions de végétation de l'arbre. Pour la vigne, on prélève avec précision la 5^{me} feuille du sarment, à partir de la base. Pour le pommier, nous avons choisi la pousse feuillée issue du bourgeon terminal des rameaux de l'année précédente, comme en 1948.

Aux premier et deuxième stades végétatifs, seuls des bourgeons ont été récoltés. Lors du troisième prélèvement (au mois de mai), la jeune pousse herbacée a été prélevée entière et analysée, étant donné l'impossibilité de faire une distinction entre ses différents organes. Ultérieurement, cette pousse fut divisée en 4 parties distinctes : les feuilles jeunes, les feuilles adultes, le bois correspondant aux feuilles jeunes et le bois correspondant aux feuilles adultes. Les feuilles adultes comprenaient toutes les feuilles depuis la base des rameaux jusqu'à et y compris la dernière feuille ayant atteint son complet développement. A partir de juillet, des échantillons de fruits ont également été récoltés.

En 1951, par suite de l'énorme quantité d'échantillons à analyser, aucun nouveau prélèvement de feuilles n'a été fait.

En 1952, un seul échantillon de feuilles a été prélevé. Ces feuilles provenaient exclusivement des rameaux de l'année.

Pour la facilité de la présentation des résultats, dans les tableaux des pages suivantes, nous désignons les différents échantillons récoltés de la façon suivante :

1947 et 1948 :

Bu	bourgeons
Po 1	pousses issues du bourgeon terminal, comprenant feuilles et bois

Po 2	pousses feuillées, pousses fructifères et autres productions provenant du bois de 2 ans
Po M	moyenne des organes feuillés analysés
Bu + Po	moyenne des organes feuillés et des bourgeons
1949 Fe	feuilles
Fr	fruits
1950 Bu	bourgeons
Po 1	pousses de l'année
Fe J	feuilles non adultes du sommet des pousses de l'année (feuilles jeunes)
Fe A	feuilles adultes de la base des pousses de l'année
Bi J	bois du sommet des pousses de l'année correspondant aux feuilles jeunes
Bi A	bois de la base des pousses de l'année correspondant aux feuilles adultes
Fr	fruits
1952 Fe	feuilles des rameaux de l'année.

Au bas des tableaux, des moyennes générales ont été tirées pour toutes les années rassemblées. Elles sont résumées :

M Bu	pour les bourgeons
M Po	pour les pousses
M Fe	pour les feuilles
M Bu + Fe	pour les bourgeons + feuilles
M Bu + Fe + Bo	pour les bourgeons, les feuilles et les pousses
M Bi	pour le bois
M Fr	pour les fruits
M G	moyenne générale de tous les organes prélevés.

Tableau n° 4
DETAILS DES ECHANTILLONNAGES

Année	Epoque	Organe	Matière séchée à l'air	
			Quant. en gr.	Moyenne
1947	printemps	bourgeons	2,7-3,2	
	début de la végétation	feuilles	8,8-14,7	
	reste de la saison	feuilles	19,2-64,7	38
1948	printemps	bourgeons		6,5
	toute la saison	feuilles	61-181	161
1949	toute la saison	feuilles	69-100	89
1950	printemps	bourgeons	4,2-12,1	7,2
	toute la saison	feuilles non adultes		43
		feuilles adultes		110
		bois du sommet		12,3
		bois de la base		50,1
1952	été	fruits		105
		feuilles		60

METHODES CHIMIQUES

Les analyses furent effectuées selon les méthodes couramment en usage, soigneusement mises au point au laboratoire.

On trouvera le détail de ces méthodes dans le rapport général du Comité National pour l'Étude de la culture fruitière pour les années 1947-1948 (I.R.S.I.A. - Bruxelles).

Matière sèche : dessication à l'air à 60°C pendant 48 heures, puis à 105°C jusqu'à poids constant.

Azote : méthode de Kieldahl.

Phosphore : méthode colorimétrique à l'hydroquinone.

Potasse : en 1947 et 1948 : méthode colorimétrique : novocaïne et a-naphtylamine.

en 1949 : méthode colorimétrique : chlorhydrate de choline
— ferrocyanure de potasse.

dès 1950 : méthode pondérale au platine.

Calcium : titration au permanganate de potassium.

Magnésium : méthode colorimétrique au jaune de titane.

Fer : méthode colorimétrique au sulfocyanure de potassium.

RESULTATS CHIMIQUES

Nous avons condensé dans les tableaux suivants les résultats des analyses des échantillons décrits dans les pages précédentes. Nous rappelons qu'il ne s'agissait pas pour nous de rechercher par l'analyse un reflet de la composition d'une plante complète. La chose est pratiquement impossible dans le cas d'arbres âgés, comme dans ce verger d'essai. La tendance fut plutôt de connaître la composition de parties de plantes faciles à prélever et de permettre ainsi de tirer des conclusions en ce qui concerne le diagnostic foliaire du pommier.

Les résultats que nous présentons vont donc nous donner seulement la tendance chimique générale des échantillons prélevés ; ils ne permettent pas de calculer une évaluation précise des besoins ou même de la composition totale de l'arbre dans son ensemble, ils reflètent simplement l'évolution des corps analysés à la suite de fumures croissantes d'un même équilibre. Successivement, les analyses ont porté sur la matière sèche, l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium, le magnésium, le fer, les résultats étant exprimés en % de la matière sèche (tableaux 5 à 11).

Tableau n° 5

POURCENTAGE DE LA MATIERE SECHE DANS LES ORGANES ANALYSES

Date des prélèvements	Organes échan- tillonnés	Parcelle			
		I bis	I	II	III
1947					
15.4	Bu	65.51	63.25	57.38	57.28
2.5	Po 2	28.42	26.19	18.22	27.64
14.5	Po 2	29.95	29.66	29.08	28.93
30.5	Po 1	38.68	40.75	39.32	38.98
	Po 2	29.80	39.14	41.73	38.06
16.6	Po 1	34.61	41.25	41.75	38.94
	Po 2	38.07	40.40	39.60	39.76
9.7	Po 1	38.89	35.77	32.30	39.49
	Po 2	38.93	35.88	31.94	42.13
11.8	Po 1	72.58	74.74	63.22	55.07
	Po 2	51.86	61.92	68.28	59.21
27.8	Po 1	52.36	54.79	48.49	53.95
	Po 2	52.48	60.47	57.40	51.22
16.9	Po 1	—	61.70	60.14	49.48
	Po 2	57.66	56.56	51.76	49.71
9.10	Po 1	55.42	52.24	49.20	50.37
	Po 2	43.79	45.27	45.77	48.43
1948					
13.4	Bu	(1)	(1)	(1)	(1)
4.5	Po 1	27.51	26.79	27.95	25.78
19.5	Po 1	38.38	37.29	35.30	31.46
8.6	Po 1	48.74	54.25	49.03	37.76
2.7	Po 1	25.52	32.06	33.33	31.91
16.7	Po 1	40.65	46.54	38.39	36.20
6.8	Po 1	27.48	26.62	28.88	26.30
23.8	Po 1	41.93	43.64	42.48	44.15
10.9	Po 1	41.67	43.98	40.15	41.90
1949					
31.5	Fe	46.07	45.86	44.28	45.32
8.7	Fe	50.24	53.72	46.89	48.64
10.8	Fe	66.41	60.26	60.25	59.11
19.9	Fe	64.79	64.92	63.96	59.66
19.9	Fr	19.30	23.20	21.57	21.65
1950					
16.3	Bu	64.33	64.03	67.56	64.49
14.4	Bu	61.05	60.78	68.47	85.46
12.5	Po 1	40.41	41.52	37.95	38.29
16.6	Fe J	42.48	39.10	38.37	39.48
16.6	Fe A	47.02	46.67	46.23	46.49
11.7	Fe J	52.84	48.33	48.98	47.33
11.7	Fe A	51.20	48.99	50.54	49.24
24.8	Fe J	57.51	54.99	53.33	55.17
24.8	Fe A	56.51	51.58	50.98	58.32
2.10	Fe J	60.70	66.05	66.06	62.54
2.10	Fe A	56.91	55.13	54.54	59.44
16.6	Bi A	38.26	36.50	33.18	34.88
16.6	Bi J	45.80	46.89	45.29	43.52
11.7	Bi A	44.43	43.20	46.41	42.18
11.7	Bi J	50.25	47.55	48.91	48.27
24.8	Bi A	61.01	58.94	57.15	58.31
24.8	Bi J	61.77	59.57	58.03	58.67
2.10	Bi A	64.24	64.18	62.09	63.42
11.7	Fr	17.66	18.27	17.69	18.18
24.8	Fr	(1)	(1)	(1)	(1)
2.10	Fr	(1)	(1)	(1)	(1)

(1) le poids frais n'a pas été noté.

Tableau n° 6

AZOTE

RESULTATS EXPRIMES EN POURCENTAGE DE LA MATIERE SECHE

Date des prélèvements	Organes échan- tillonnés	Parcelle			
		I bis	I	II	III
1947					
15.4	Bu	1.829	2.100	1.614	1.880
2.5	Po 2	2.052	2.134	2.151	2.237
14.5	Po 2	2.845	3.207	2.927	2.610
30.5	Po 1	2.150	2.084	2.018	2.162
30.5	Po 2	2.185	2.283	2.103	2.128
16.6	Po 1	2.060	1.963	1.804	2.047
16.6	Po 2	2.113	2.012	2.002	2.033
9.7	Po 1	1.819	1.896	1.819	2.007
9.7	Po 2	1.885	1.936	1.841	1.928
11.8	Po 1	1.710	1.640	1.688	1.805
11.8	Po 2	1.637	1.751	1.813	1.824
27.8	Po 1	1.646	1.711	1.598	1.707
27.8	Po 2	1.636	1.611	1.593	1.739
16.9	Po 1	—	1.726	1.709	1.774
16.9	Po 2	1.651	1.529	1.585	1.673
9.10	Po 1	1.683	1.701	1.578	1.719
9.10	Po 2	1.641	1.588	1.755	1.762
1948					
13.4	Bu	2.075	1.949	2.372	1.960
4.5	Po 1	3.886	3.923	3.767	4.100
19.5	Po 1	3.180	2.789	2.919	3.157
8.6	Po 1	2.402	2.527	2.583	2.616
2.7	Po 1	2.460	2.294	2.383	2.365
16.7	Po 1	2.034	2.188	2.152	2.226
6.8	Po 1	2.111	2.019	2.057	2.124
23.8	Po 1	1.944	2.332	1.997	2.031
10.9	Po 1	2.058	1.963	1.957	1.877
1949					
31.5	Fe	2.458	2.542	2.492	2.326
8.7	Fe	1.882	1.932	1.936	1.968
10.8	Fe	1.830	1.893	1.841	1.831
19.9	Fe	1.739	1.668	1.795	1.826
19.9	Fr	0.357	0.302	0.314	0.365
1950					
16.3	Bu	1.247	1.284	1.313	1.284
14.4	Bu	1.955	1.973	1.738	1.742
12.5	Po 1	3.427	3.520	3.624	3.737
16.5	Fe J	2.564	2.504	2.563	2.589
16.6	Fe A	2.362	2.314	2.262	2.335
11.7	Fe J	2.461	2.441	2.432	2.448
11.7	Fe A	2.441	2.260	2.308	2.437
24.8	Fe J	2.370	2.420	2.380	2.336
24.8	Fe A	2.363	2.164	2.300	2.428
2.10	Fe J	2.040	2.037	2.052	2.129
2.10	Fe A	2.202	2.154	2.200	2.219
16.6	Bi A	1.634	1.679	1.536	1.552
16.6	Bi J	1.171	1.191	1.187	1.184
11.7	Bi A	1.295	1.394	1.343	1.294
11.7	Bi J	1.020	0.926	0.906	0.887
24.8	Bi A	1.302	1.242	1.306	1.305
24.8	Bi J	0.952	0.867	0.867	0.970
2.10	Bi A	0.940	0.981	0.996	1.021
11.7	Fr	0.765	0.751	0.789	0.753
24.8	Fr	0.378	0.354	0.367	0.402
2.10	Fr	0.346	0.343	0.350	0.335
1952					
27.7	Fe	1.805	1.776	2.145	2.094

Tableau n° 7

 $P_2 O_5$

RESULTATS EXPRIMES EN POURCENTAGE DE LA MATIERE SECHE

Date des prélèvements	Organes échan- tillonnés	Parcelle			
		I bis	I	II	III
1947					
15.4	Bu	0.430	0.486	0.541	0.516
2.5	Po 2	1.230	1.310	1.561	1.383
14.5	Po 2	0.800	0.936	0.972	0.817
30.5	Po 1	0.515	0.469	0.609	0.540
30.5	Po 2	0.552	0.540	0.680	0.548
16.6	Po 1	0.348	0.393	0.474	0.435
16.6	Po 2	0.286	0.408	0.483	0.410
9.7	Po 1	0.294	0.292	0.362	0.348
9.7	Po 2	0.277	0.311	0.348	0.348
11.8	Po 1	0.283	0.295	0.348	0.286
11.8	Po 2	0.329	0.295	0.378	0.314
27.8	Po 1	0.268	0.260	0.330	0.277
27.8	Po 2	0.258	0.280	0.325	0.314
16.9	Po 1	—	0.256	0.330	0.270
16.9	Po 2	0.257	0.280	0.325	0.291
9.10	Po 1	0.275	0.247	0.309	0.300
9.10	Po 2	0.212	0.230	0.282	0.245
1948					
13.4	Bu	0.655	0.645	0.640	0.650
4.5	Po 1	1.128	1.176	1.132	1.210
19.5	Po 1	0.695	0.651	0.690	0.433
8.6	Po 1	0.494	0.469	0.574	0.529
2.7	Po 1	0.477	0.669	0.413	0.399
16.7	Po 1	0.314	0.339	0.363	0.334
6.8	Po 1	0.306	0.303	0.299	0.314
23.8	Po 1	0.361	0.351	0.346	0.384
10.9	Po 1	0.360	0.323	0.399	0.325
1949					
31.5	Fe	0.701	0.734	0.698	0.657
8.7	Fe	0.374	0.380	0.386	0.382
10.8	Fe	0.265	0.333	0.314	0.332
19.9	Fe	0.279	0.296	0.295	0.321
19.9	Fr	0.170	0.156	0.159	0.158
1950					
16.3	Bu	0.380	0.342	0.362	0.372
14.4	Bu	0.554	0.532	0.489	0.519
12.5	Po 1	1.530	1.327	1.442	1.399
16.6	Fe J	0.655	0.698	0.658	0.661
16.6	Fe A	0.481	0.482	0.514	0.500
11.7	Fe J	0.446	0.482	0.455	0.461
11.7	Fe A	0.425	0.430	0.426	0.422
24.8	Fe J	0.323	0.344	0.338	0.327
24.8	Fe A	0.310	0.343	0.342	0.423
2.10	Fe J	0.316	0.330	0.323	0.331
2.10	Fe A	0.311	0.319	0.329	0.317
16.6	Bi A	0.571	0.488	0.489	0.488
16.6	Bi J	0.379	0.349	0.347	0.346
11.7	Bi A	0.407	0.429	0.430	0.547
11.7	Bi J	0.326	0.296	0.296	0.292
24.8	Bi A	0.315	0.305	0.342	0.310
24.8	Bi J	0.402	0.325	0.265	0.265
2.10	Bi A	0.272	0.274	0.280	0.280
11.7	Fr	0.266	0.265	0.274	0.262
27.8	Fr	0.138	0.117	0.121	0.144
2.10	Fr	0.148	0.143	0.149	0.145
1952					
27.7	Fe	0.332	0.331	0.350	0.306

Tableau n° 8

K₂O

RESULTATS EXPRIMES EN POURCENTAGE DE LA MATIERE SECHE

Date des prélèvements	Organes échan- tillonnés	Parcelle			
		I bis	I	II	III
1947					
15.4	Bu	1.090	1.064	1.346	1.125
2.5	Po 2	4.684	2.780	3.887	4.286
14.5	Po 2	3.744	3.200	3.777	4.045
30.5	Po 1	3.221	2.864	3.810	2.464
30.5	Po 2	3.368	2.628	3.898	4.361
16.6	Po 1	3.547	2.463	4.621	2.955
16.6	Po 2	2.861	2.501	3.919	2.370
9.7	Po 1	2.449	1.625	2.932	3.319
9.7	Po 2	4.028	3.801	3.914	2.857
11.8	Po 1	3.150	2.529	3.506	4.392
11.8	Po 2	3.596	3.828	3.894	3.319
27.8	Po 1	1.864	2.457	3.465	3.832
27.8	Po 2	2.706	2.218	2.207	2.339
16.9	Po 1	—	3.307	2.778	2.853
16.9	Po 2	1.323	1.632	2.355	1.821
9.10	Po 1	2.782	1.838	2.129	1.354
9.10	Po 2	1.476	3.322	1.271	3.004
1948					
13.4	Bu	1.137	1.301	1.127	1.290
4.5	Po 1	2.254	1.885	2.133	2.297
19.5	Po 1	2.441	2.098	2.512	1.517
8.6	Po 1	1.998	1.992	2.191	2.110
2.7	Po 1	1.654	2.618	1.914	1.596
16.7	Po 1	1.476	1.459	1.485	1.501
6.8	Po 1	1.830	1.908	1.403	2.191
23.8	Po 1	1.402	1.968	1.909	1.630
10.9	Po 1	1.546	1.535	1.849	1.685
1949					
31.5	Fe	1.871	1.652	1.842	1.786
8.7	Fe	1.742	1.758	1.495	1.682
10.8	Fe	1.896	1.742	1.723	1.810
19.9	Fe	1.017	1.493	1.611	1.710
19.9	Fr	1.229	1.159	1.159	1.161
1950					
16.3	Bu	0.506	0.574	0.639	0.701
14.4	Bu	1.002	0.817	0.733	1.003
12.5	Po 1	2.332	2.021	2.156	2.054
16.6	Fe J	1.755	1.970	1.928	1.898
16.6	Fe A	1.599	1.723	1.666	2.033
11.7	Fe J	1.691	1.512	1.553	1.512
11.7	Fe A	1.873	1.402	1.266	1.143
24.8	Fe J	1.759	1.727	1.823	1.798
24.8	Fe A	1.703	1.956	2.019	1.871
2.10	Fe J	1.704	1.512	1.445	1.104
2.10	Fe A	1.805	1.354	1.576	1.894
16.6	Bi A	1.859	1.809	1.419	1.774
16.6	Bi J	1.434	1.497	1.607	1.179
11.7	Bi A	1.372	1.107	1.365	1.381
11.7	Bi J	1.071	0.770	0.964	0.902
24.8	Bi A	1.073	0.725	0.758	0.855
24.8	Bi J	0.740	0.683	0.687	0.721
2.10	Bi A	0.688	0.685	0.704	0.723
11.7	Fr	1.486	1.223	1.449	1.339
24.8	Fr	1.045	1.080	1.115	1.238
2.10	Fr	1.290	1.161	1.125	1.153
1952					
27.7	Fe	2.096	1.769	1.825	1.908

Tableau n° 9

Ca O

RESULTATS EXPRIMES EN POURCENTAGE DE LA MATIERE SECHE

Date des prélèvements	Organes échan- tillonnés	Parcelle			
		I bis	I	II	III
1947					
15.4	Bu	2.823	2.927	2.258	2.243
2.5	Po 2	1.480	1.331	1.444	1.448
14.5	Po 2	1.548	1.456	1.395	1.325
30.5	Po 1	1.135	1.167	1.348	1.173
30.5	Po 2	1.706	1.901	1.690	1.507
16.6	Po 1	2.002	1.434	1.887	2.170
16.6	Po 2	3.271	2.465	2.604	2.276
9.7	Po 1	2.583	2.486	2.923	2.793
9.7	Po 2	1.805	1.968	2.243	2.432
11.8	Po 1	3.281	3.014	2.377	2.615
11.8	Po 2	1.374	2.143	2.866	2.882
27.8	Po 1	2.200	2.155	2.205	2.388
27.8	Po 2	2.717	2.691	2.972	3.175
16.9	Po 1	—	2.204	2.212	2.769
16.9	Po 2	2.919	2.598	2.958	3.220
9.10	Po 1	3.039	2.580	2.944	3.127
9.10	Po 2	2.204	2.085	1.310	2.539
1948					
13.4	Bu	2.093	2.380	2.171	2.093
4.5	Po 1	1.419	1.284	1.487	1.311
19.5	Po 1	1.883	2.258	2.286	3.649
8.6	Po 1	2.348	3.175	2.741	2.814
2.7	Po 1	3.412	2.149	4.238	3.340
16.7	Po 1	2.616	3.190	3.211	4.182
6.8	Po 1	3.487	3.335	3.524	3.445
23.8	Po 1	3.764	4.203	3.852	3.670
10.9	Po 1	5.082	5.595	5.401	5.298
1949					
31.5	Fe	1.384	1.323	1.620	1.437
8.7	Fe	2.184	2.280	2.676	2.341
10.8	Fe	2.481	2.463	2.934	2.616
19.9	Fe	2.602	3.194	3.374	3.158
19.9	Fr	0.079	0.121	0.118	0.063
1950					
16.3	Bu	2.589	2.594	2.761	2.602
14.4	Bu	2.328	2.292	2.661	1.868
12.5	Po 1	1.308	1.402	1.293	1.605
16.6	Fe J	1.321	1.323	1.375	1.396
16.6	Fe A	2.161	2.330	2.243	2.064
11.7	Fe J	1.917	1.975	2.028	1.816
11.7	Fe A	2.771	2.779	2.754	2.330
24.8	Fe J	2.836	2.609	2.725	2.829
24.8	Fe A	2.831	2.726	3.041	3.149
2.10	Fe J	3.548	2.835	2.714	2.270
2.10	Fe A	3.016	3.074	3.445	2.958
16.6	Bi A	1.931	1.819	1.879	1.920
16.6	Bi J	2.096	2.039	2.053	2.033
11.7	Bi A	2.390	2.321	2.319	2.133
11.7	Bi J	2.430	2.277	2.279	2.257
24.8	Bi A	3.031	2.878	2.877	2.825
24.8	Bi J	2.245	2.311	2.389	2.606
2.10	Bi A	2.582	2.485	2.365	2.385
11.7	Fr	0.261	0.288	0.260	0.277
24.8	Fr	0.142	0.090	0.103	0.124
2.10	Fr	0.166	0.031	0.042	0.072
1952					
27.7	Fe	2.036	2.352	2.618	2.322

Tableau n° 10

MgO

RESULTATS EXPRIMES EN POURCENTAGE DE LA MATIERE SECHE

Date des prélèvements	Organes échan- tillonnés	Parcelle			
		I bis	I	II	III
1947					
15.4	Bu	0.192	0.181	0.181	0.199
2.5	Po 2	0.710	0.680	0.660	0.680
14.5	Po 2	1.030	0.990	0.900	0.860
30.5	Po 1	0.650	0.700	0.680	0.610
30.5	Po 2	0.960	0.830	0.930	0.830
16.6	Po 1	0.860	1.080	0.700	0.650
16.6	Po 2	1.090	0.830	1.010	0.860
9.7	Po 1	1.110	1.040	1.090	0.930
9.7	Po 2	0.760	0.760	0.650	0.760
11.8	Po 1	0.860	0.990	0.780	0.750
11.8	Po 2	0.660	0.830	0.910	1.030
27.8	Po 1	0.840	0.850	0.850	0.910
27.8	Po 2	0.980	0.980	0.860	0.930
16.9	Po 1	—	0.880	0.810	0.930
16.9	Po 2	0.760	0.830	0.810	1.010
9.10	Po 1	0.930	0.760	0.800	0.860
9.10	Po 2	0.763	0.760	0.400	0.930
1948					
13.4	Bu	0.187	0.199	0.177	0.206
4.5	Po 1	0.342	0.345	0.313	0.335
19.5	Po 1	0.421	0.501	0.561	0.603
8.6	Po 1	0.491	0.471	0.456	0.482
2.7	Po 1	0.600	0.404	0.582	0.539
16.7	Po 1	0.519	0.522	0.504	0.532
6.8	Po 1	0.539	0.509	0.519	0.580
23.8	Po 1	0.559	0.537	0.502	0.527
10.9	Po 1	0.565	0.630	0.595	0.511
1949					
31.5	Fe	0.485	0.421	0.457	0.477
8.7	Fe	0.517	0.406	0.554	0.466
10.8	Fe	0.546	0.581	0.604	0.573
19.9	Fe	0.628	0.629	0.634	0.620
19.9	Fr	0.068	0.068	0.073	0.070
1950					
16.3	Bu	0.151	0.190	0.151	0.162
14.4	Bu	0.175	0.195	0.144	0.161
12.5	Po 1	0.455	0.458	0.454	0.429
16.6	Fe J	0.443	0.407	0.366	0.404
16.6	Fe A	0.484	0.446	0.484	0.459
11.7	Fe J	0.507	0.542	0.510	0.505
11.7	Fe A	0.436	0.434	0.418	0.374
24.8	Fe J	0.830	0.875	0.897	0.828
24.8	Fe A	0.689	0.694	0.709	0.608
2.10	Fe J	0.865	0.979	0.998	0.961
2.10	Fe A	0.764	0.667	0.664	0.634
16.6	Bi A	0.548	0.533	0.468	0.544
16.6	Bi J	0.340	0.321	0.339	0.405
11.7	Bi A	0.353	0.355	0.353	0.354
11.7	Bi J	0.219	0.244	0.205	0.206
24.8	Bi A	0.464	0.467	0.490	0.473
24.8	Bi J	0.320	0.174	0.292	0.269
2.10	Bi A	0.377	0.381	0.347	0.313
11.7	Fr	0.142	0.131	0.129	0.087
24.8	Fr	0.095	0.103	0.083	0.082
2.10	Fr	0.089	0.102	0.093	0.109
1952					
27.7	Fe	0.403	0.414	0.379	0.377

Tableau n° 11

 Fe_2O_3

RESULTATS EXPRIMES EN POURCENTAGE DE LA MATIERE SECHE

Date des prélèvements	Organes échan- tillonnés	Parcelle			
		I bis	I	II	III
1947					
15.4	Bu	0.036	0.086	0.039	0.036
2.5	Po 2	0.070	0.066	0.081	0.093
14.5	Po 2	0.044	0.043	0.061	0.070
30.5	Po 1	0.024	0.031	0.043	0.027
30.5	Po 2	0.024	0.036	0.029	0.037
16.6	Po 1	0.029	0.020	0.033	0.029
16.6	Po 2	0.056	0.023	0.040	0.086
9.7	Po 1	0.036	0.037	0.060	0.049
9.7	Po 2	0.036	0.040	0.054	0.030
11.8	Po 1	0.043	0.047	0.041	0.041
11.8	Po 2	0.031	0.027	0.046	0.042
27.8	Po 1	0.031	0.039	0.079	0.066
27.8	Po 2	0.043	—	0.044	0.049
16.9	Po 1	—	0.036	0.037	0.037
16.9	Po 2	0.030	0.031	0.029	0.034
9.10	Po 1	0.094	—	0.047	0.066
9.10	Po 2	—	0.040	0.024	0.074
1948					
13.4	Bu	0.077	0.069	0.084	0.046
4.5	Po 1	0.039	0.027	0.039	0.034
19.5	Po 1	0.054	0.027	0.024	0.036
8.6	Po 1	0.024	0.019	0.027	0.024
2.7	Po 1	0.056	0.037	0.036	0.031
16.7	Po 1	0.029	0.030	0.026	0.006
6.8	Po 1	0.033	0.033	0.039	0.050
23.8	Po 1	0.027	0.027	0.031	0.039
10.9	Po 1	0.054	0.013	0.024	0.041
1949					
31.5	Fe	0.012	0.018	0.076	0.013
8.7	Fe	0.028	0.029	0.030	0.030
10.8	Fe	0.003	0.026	0.017	0.041
19.9	Fr	0.033	0.031	0.006	0.034
1950					
16.3	Bu	0.060	0.073	0.073	0.110
14.4	Bu	0.058	0.059	0.067	0.087
12.5	Po 1	0.012	0.078	0.067	0.066
16.6	Fe J	0.025	0.028	0.023	0.027
16.6	Fe A	0.034	0.030	0.036	0.010
11.7	Fe J	0.021	0.021	0.023	0.018
11.7	Fe A	0.031	0.034	0.032	0.030
24.8	Fe J	0.036	0.035	0.035	0.032
24.8	Fe A	0.041	0.053	0.015	0.009
2.10	Fe J	0.032	0.029	0.036	0.024
2.10	Fe A	0.043	0.022	0.008	0.003
16.6	Bi A	0.025	0.025	0.015	0.017
16.6	Bi J	0.016	0.014	0.014	0.013
11.7	Bi A	0.015	0.011	0.011	0.011
11.7	Bi J	0.013	0.013	0.013	0.008
24.8	Bi A	0.012	0.027	0.012	0.011
24.8	Bi J	0.002	0.008	0.009	0.018
2.10	Bi A	0.008	0.014	0.003	0.003
11.7	Fr	0.008	0.012	0.010	0.007
24.8	Fr	0.009	0.006	0.007	0.008
2.10	Fr	0.029	0.018	0.008	0.011
1952					
27.7	Fe	0.013	0.012	0.015	0.015

PRODUCTION FRUITIERE

Le rendement en fruits a été noté soigneusement chaque année ; les fruits ont été pesés, mais n'ont pas été triés, ni calibrés, des traitements antiparasitaires identiques ayant été appliqués régulièrement dans tout le verger d'essais.

L'expérience étant toujours en cours, nous avons indiqué les rendements pour les années 1948 à 1954. Toutefois dans le calcul des moyennes, nous avons fait la distinction entre les 5 années 1948 à 1952 où nous avons effectué les diverses analyses mentionnées plus haut, et les 7 années 1948 à 1954 durant lesquelles les observations ont été poursuivies.

Tableau n° 15
RENDEMENTS EN FRUITS EXPRIMES EN KG.
PAR PARCELLE DE 6 ARBRES (1.176 M²)

Année	I bis	I	II	III
1948	832	1.470	1.560	2.574
1949	1.535	1.284	1.595	799
1950	5.769	5.211	5.275	4.548
1951	0	19	22	5
1952	1.896 (1)	3.888	5.972	5.472
1953	1.980 (1)	2.420	2.890	1.120
1954	100 (1)	984	2.400	2.040

(1) Pour 5 arbres, soit 980 m², un arbre atteint de la maladie du Plomb ayant été supprimé

Tableau n° 16
RENDEMENTS EN FRUITS RAMENES A L'HECTARE (EN KG)

Année	I bis	I	II	III
1948	7.074	12.500	13.265	21.888
1949	13.053	10.918	13.563	6.794
1950	49.056	44.311	44.855	40.374
1951	0	162	187	43
1952	19.347	33.061	50.782	46.531
1953	20.204	20.578	24.575	9.524
1954	1.016	8.367	20.408	17.347
Moyennes annuelles.				
1948-1952	17.706	20.190	24.530	23.126
1948-1954	15.679	18.556	24.011	20.357
Valeurs relatives.				
1948-1952	87,7	100	121,4	114,5
1948-1954	84,5	100	129,0	109,7

Tableau n° 12

MOYENNES ANNUELLES DES DIFFERENTS ORGANES ANALYSES

Résultats exprimés en % de la matière sèche.

Organes analysés	Nombre échant.	N				P ₂ O ₅				K ₂ O				CaO				MgO				Fe ₂ O ₃			
		Ibis	I	II	III	Ibis	I	II	III	Ibis	I	II	III	Ibis	I	II	III	Ibis	I	II	III	Ibis	I	II	III
1947																									
Bu	1	1.829	2.100	1.614	1.880	0.430	0.486	0.541	0.516	1.090	1.064	1.346	1.125	2.823	2.927	2.258	2.243	0.192	0.181	0.181	0.199	0.036	0.086	0.039	0.036
Po 1	7	1.845	1.817	1.745	1.889	0.331	0.317	0.394	0.356	2.835	2.440	3.320	3.044	2.373	2.148	2.271	2.434	0.875	0.900	0.816	0.806	0.043	0.035	0.049	0.045
Po 2	9	1.961	2.006	1.997	1.992	0.467	0.510	0.556	0.519	3.087	2.888	3.243	3.156	2.114	2.096	2.165	2.311	0.857	0.831	0.798	0.877	0.042	0.038	0.045	0.063
Po M	16	1.914	1.923	1.874	1.947	0.412	0.425	0.485	0.448	2.986	2.687	3.272	3.098	2.218	2.104	2.211	2.365	0.864	0.862	0.803	0.846	0.042	0.037	0.047	0.055
Bu+Po	17	1.909	1.934	1.858	1.943	0.413	0.429	0.489	0.451	2.868	2.591	3.159	2.982	2.255	2.153	2.213	2.357	0.822	0.822	0.766	0.808	0.042	0.040	0.046	0.054
1948																									
Bu	1	2.075	1.949	2.372	1.960	0.655	0.645	0.640	0.650	1.137	1.301	1.127	1.290	2.093	2.380	2.171	2.093	0.187	0.199	0.177	0.206	0.077	0.069	0.084	0.046
Po 1	8	2.509	2.504	2.478	2.562	0.517	0.535	0.527	0.491	1.825	1.933	1.924	1.816	3.011	3.148	3.342	3.437	0.504	0.490	0.504	0.514	0.038	0.027	0.031	0.031
Bu+Po 1	9	2.461	2.442	2.465	2.495	0.532	0.547	0.539	0.508	1.748	1.863	1.836	1.756	2.900	3.063	3.101	3.310	0.468	0.457	0.471	0.477	0.042	0.031	0.035	0.033
1949																									
Fe	4	1.977	2.009	2.016	1.988	0.405	0.436	0.423	0.423	1.631	1.661	1.667	1.747	2.163	2.315	2.651	2.388	0.544	0.509	0.562	0.609	0.019	0.026	0.032	0.029
Fr	1	0.357	0.302	0.314	0.365	0.170	0.156	0.159	0.158	0.170	0.156	0.159	0.158	0.079	0.121	0.118	0.063	0.068	0.068	0.073	0.070	—	—	—	—
1950																									
Bu	2	1.601	1.628	1.526	1.513	0.467	0.437	0.426	0.445	0.754	0.695	0.686	0.852	2.458	2.443	2.711	2.235	0.192	0.163	0.148	0.162	0.059	0.066	0.070	0.098
Po 1	1	3.427	3.520	3.624	3.737	1.530	1.327	1.442	1.399	2.332	2.021	2.156	2.054	1.308	1.402	1.293	1.605	0.458	0.455	0.454	0.429	0.012	0.078	0.067	0.066
Fe J	4	2.359	2.350	2.356	2.376	0.435	0.463	0.444	0.445	1.727	1.680	1.687	1.578	2.406	2.185	2.211	2.078	0.701	0.661	0.593	0.674	0.028	0.028	0.029	0.025
Fe A	4	2.341	2.223	2.267	2.355	0.381	0.493	0.401	0.415	1.745	1.609	1.631	1.735	2.695	2.727	2.870	2.625	0.560	0.593	0.567	0.518	0.037	0.035	0.023	0.011
Fe M	8	2.354	2.287	2.312	2.365	0.407	0.428	0.423	0.430	1.643	1.644	1.659	1.657	2.550	2.456	2.541	2.351	0.627	0.631	0.631	0.596	0.033	0.031	0.026	0.088
Fe+Po 1	9	2.470	2.428	2.458	2.517	0.539	0.528	0.536	0.538	1.802	1.686	1.714	1.701	2.412	2.339	2.402	2.269	0.611	0.630	0.611	0.578	0.031	0.026	0.031	0.023
Fe+Po 1+Bu	11	2.311	2.272	2.288	2.355	0.522	0.511	0.516	0.521	1.612	1.508	1.528	1.546	2.410	2.358	2.458	2.244	0.535	0.545	0.527	0.502	0.036	0.042	0.038	0.037
Bi J	3	1.410	1.429	1.395	1.384	0.423	0.407	0.420	0.448	1.435	1.214	1.181	1.337	2.451	2.337	2.358	2.293	0.452	0.455	0.437	0.457	0.017	0.021	0.013	0.013
Bi A	4	1.292	1.324	1.295	1.293	0.391	0.374	0.385	0.406	1.248	1.082	1.062	1.183	2.483	2.376	2.360	2.315	0.435	0.434	0.415	0.421	0.015	0.019	0.010	0.010
Bi M	7	1.188	1.183	1.164	1.172	0.384	0.352	0.349	0.361	1.177	1.111	1.072	1.076	2.386	2.303	2.309	2.311	0.353	0.374	0.356	0.366	0.030	0.037	0.025	0.027
Fr	3	0.496	0.483	0.502	0.493	0.184	0.175	0.181	0.183	1.274	1.155	1.224	1.243	0.189	0.136	0.135	0.158	0.112	0.108	0.102	0.093	0.015	0.012	0.009	0.009
1952																									
Fe	1	1.805	1.776	2.145	2.044	0.332	0.331	0.350	0.306	2.096	1.769	1.825	1.908	2.036	2.352	2.618	2.322	0.403	0.414	0.379	0.377	0.013	0.012	0.015	0.015
M Bu	4	1.778	1.828	1.777	1.718	0.505	0.501	0.508	0.514	0.934	0.939	0.961	1.029	2.458	2.538	2.463	2.202	0.191	0.175	0.163	0.182	0.058	0.072	0.066	0.069
M Fe+Po 1	38	2.182	2.169	2.161	2.219	0.461	0.471	0.496	0.472	2.308	2.157	2.413	2.324	2.409	2.409	2.551	2.775	0.681	0.677	0.659	0.674	0.035	0.033	0.037	0.036
M Fe+Po 1+Bu	42	2.142	2.136	2.123	2.174	0.465	0.474	0.497	0.478	2.121	2.040	2.275	2.200	2.413	2.422	2.543	2.539	0.630	0.631	0.611	0.628	0.037	0.037	0.039	0.039
M Bi	7	1.188	1.183	1.164	1.172	0.384	0.352	0.349	0.361	1.177	1.111	1.072	1.076	2.386	2.303	2.309	2.311	0.353	0.374	0.356	0.366	0.030	0.037	0.025	0.027
M Fr	4	0.462	0.438	0.455	0.466	0.174	0.170	0.173	0.177	1.262	1.155	1.212	1.223	0.162	0.132	0.131	0.144	0.101	0.098	0.095	0.087	0.015	0.012	0.009	0.009
M G	53	1.871	1.882	1.870	1.904	0.432	0.435	0.453	0.447	1.947	1.851	2.035	1.977	2.237	2.233	2.330	2.329	0.533	0.557	0.508	0.556	0.032	0.032	0.034	0.034

Tableau n° 13

MOYENNES ANNUELLES DES DIFFERENTS ORGANES ANALYSES

Résultats exprimés en valeurs relatives. Dose I = 100.

Organes analysés	AZOTE				P ₂ O ₅				K ₂ O				CaO				MgO				Fe ₂ O ₃			
	Ibis	I	II	III	Ibis	I	II	III	Ibis	I	II	III	Ibis	I	II	III	Ibis	I	II	III	Ibis	I	II	III
1947																								
Bu	87.0	100	76.8	89.5	88.4	100	111.3	106.1	102.4	100	126.5	105.7	96.4	100	77.1	76.6	106.1	100	100.0	100.0	41.8	100	45.3	41.8
Po 1	101.5	100	96.0	103.9	104.4	100	124.2	112.3	116.1	100	136.0	124.7	110.4	100	105.7	113.3	97.2	100	96.6	89.5	122.8	100	140.0	128.5
Po 2	97.7	100	99.5	99.3	91.7	100	109.0	101.7	106.8	100	112.2	109.2	100.8	100	103.2	110.2	108.1	100	96.2	105.5	114.5	100	118.4	165.7
Po M	99.5	100	97.4	101.2	96.9	100	114.1	105.4	111.1	100	121.7	115.2	105.4	100	105.8	112.4	104.2	100	93.1	98.1	113.5	100	127.0	148.6
Bu+ Po	98.7	100	96.0	100.4	96.2	100	113.9	105.1	110.6	100	121.9	115.0	104.7	100	102.7	109.4	100.0	100	93.5	98.2	105.0	100	115.0	135.0
1948																								
Bu	106.4	100	121.7	100.5	101.5	100	99.2	100.7	87.3	100	86.6	99.1	87.9	100	91.2	87.9	93.9	100	88.0	103.5	111.5	100	121.7	66.6
Po 1	100.1	100	98.9	102.3	96.6	100	98.5	91.7	94.4	100	99.5	93.9	95.6	100	106.1	109.1	102.8	100	102.8	104.8	140.7	100	114.8	114.8
Bu+Po 1	100.7	100	100.9	102.1	97.2	100	98.5	92.8	93.8	100	98.5	94.2	94.7	100	101.3	108.0	102.4	100	103.0	104.3	135.4	100	112.9	106.4
1949																								
Fe	98.4	100	100.3	98.9	92.8	100	97.0	97.0	98.1	100	100.3	105.1	93.4	100	114.5	103.1	106.8	100	110.4	104.8	73.0	100	123.0	111.5
Fr	118.2	100	103.9	120.8	108.9	100	101.9	101.2	108.9	100	101.9	101.2	65.2	100	97.5	52.6	100.0	100	107.3	102.9	—	—	—	—
1950																								
Bu	98.3	100	93.7	92.9	107.1	100	97.4	101.8	108.4	100	98.7	122.5	100.6	100	110.9	91.4	117.7	100	90.7	99.4	89.3	100	106.6	148.4
Po 1	97.3	100	102.9	106.1	115.2	100	108.6	105.4	115.3	100	106.6	101.6	93.2	100	92.2	114.4	100.6	100	99.7	94.2	15.3	100	85.8	84.6
Fe J	100.4	100	100.3	101.1	93.9	100	95.7	96.0	102.8	100	100.4	93.9	110.1	100	101.2	95.1	106.1	100	89.7	102.0	100.0	100	103.5	90.3
Fe A	105.3	100	102.0	105.9	96.8	100	102.0	105.6	108.5	100	101.4	107.8	98.8	100	106.5	96.2	94.5	100	95.7	87.4	100.0	100	66.2	32.4
Fe M	102.9	100	101.1	103.4	95.1	100	98.8	100.5	105.6	100	100.9	100.7	103.8	100	103.4	95.7	99.4	100	100.0	94.5	103.6	100	82.9	58.3
Fe+Po 1	101.7	100	101.2	103.6	102.0	100	101.5	101.8	106.8	100	101.6	100.8	103.1	100	102.6	97.0	96.9	100	96.9	91.7	119.2	100	119.2	88.4
Fe+Po 1+Bu	101.7	100	100.7	103.6	102.1	100	100.9	101.9	106.8	100	101.3	102.5	102.2	100	104.2	95.1	98.1	100	96.6	92.1	119.2	100	119.2	88.4
Bi J	98.6	100	97.6	96.8	103.9	100	103.1	110.0	118.2	100	97.2	110.1	104.8	100	100.8	98.1	99.3	100	96.0	100.4	80.9	100	61.9	61.9
Bi A	97.6	100	97.8	97.6	104.5	100	102.9	108.5	115.3	100	98.1	109.3	104.5	100	99.3	97.4	100.2	100	95.6	97.0	78.9	100	52.6	52.6
Bi M	100.4	100	98.3	99.0	109.0	100	99.1	102.5	105.4	100	96.4	96.8	101.6	100	100.2	100.3	94.3	100	95.1	97.8	81.0	100	67.5	72.9
Fr	102.6	100	103.9	102.0	105.1	100	103.4	104.5	110.3	100	106.4	107.6	138.9	100	99.9	116.1	103.7	100	94.4	86.1	125.0	100	75.0	75.0
1952																								
Fe	101.6	100	120.7	117.9	100.0	100	105.7	92.4	118.4	100	103.2	107.8	86.5	100	111.3	98.7	97.3	100	91.5	91.0	108.3	100	125.0	125.0
M Bu	97.3	100	97.2	93.9	100.7	100	101.3	102.5	99.4	100	102.3	109.5	96.8	100	97.0	86.7	109.1	100	97.0	97.6	80.5	100	90.9	95.8
M Fe+ Po 1	100.5	100	99.6	102.3	97.8	100	105.3	100.2	107.0	100	111.8	107.7	97.3	100	105.9	106.8	100.5	100	97.3	99.5	106.0	100	105.7	109.0
M Fe+ Po 1+Bu	100.2	100	99.3	101.7	98.1	100	104.8	100.8	103.9	100	111.5	107.8	99.6	100	104.9	104.8	99.8	100	96.8	99.5	100.0	100	105.4	105.4
M Bi	100.4	100	98.3	99.0	109.0	100	99.1	102.5	105.9	100	96.4	96.8	103.6	100	100.2	100.3	94.3	100	95.1	97.8	81.0	100	67.5	72.9
M Fr	105.4	100	103.8	106.3	102.3	100	101.7	104.1	109.2	100	104.9	105.8	122.7	100	99.9	109.0	103.0	100	96.9	88.7	125.0	100	75.0	75.0
MG	99.4	100	99.3	101.4	99.3	100	104.1	103.4	105.1	100	109.9	106.8	100.1	100	104.3	104.2	99.2	100	96.6	98.9	100.0	100	106.2	106.2

Tableau n° 14

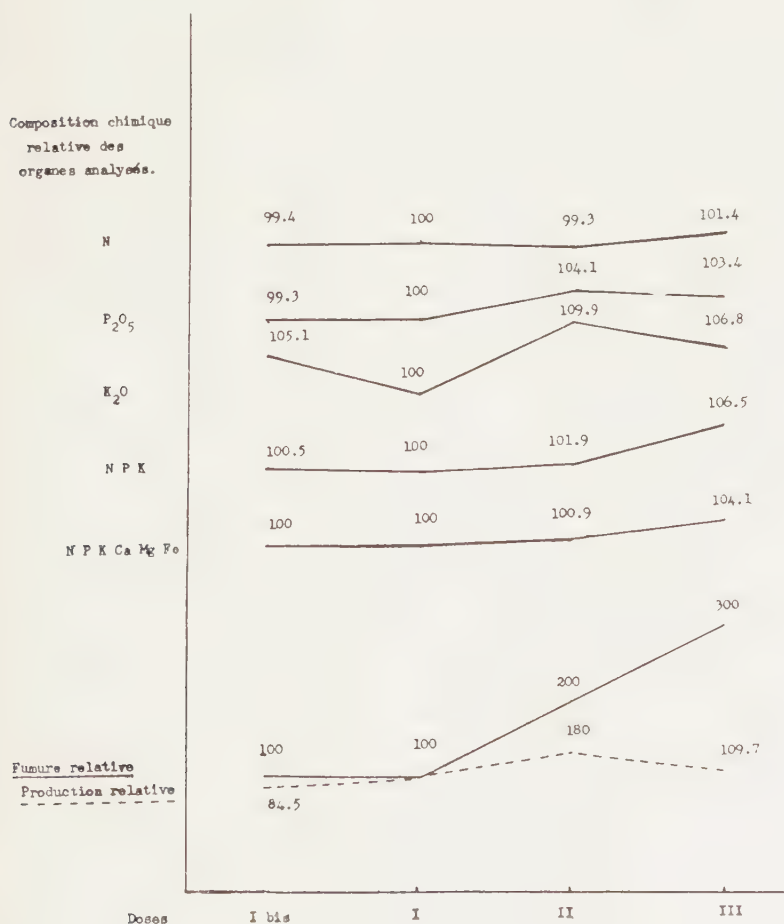
RESULTATS EXPRIMES EN MILLIEQUIVALENTS
Moyennes annuelles des différents organes analysés.

	AZOTE				P ₂ O ₅				K ₂ O				N + P ₂ O ₅ + K ₂ O milliéquivalents								CaO				MgO				Fe ₂ O ₃				N + P ₂ O ₅ + K ₂ O + CaO + MgO + Fe ₂ O ₃									
													en valeurs absolues				en valeurs relatives																en valeurs absolues				en valeurs relatives					
	Ibis	I	II	III	Ibis	I	II	III	Ibis	I	II	III	Ibis	I	II	III	Ibis	I	II	III	Ibis	I	II	III	Ibis	I	II	III	Ibis	I	II	III	Ibis	I	II	III	Ibis	I	II	III		
1947																																										
Bu	130.568	149.914	115.220	134.209	18.164	20.530	22.853	21.797	23.141	22.589	28.576	23.884	161.873	193.033	166.649	179.890	83.8	100	86.3	93.1	100.721	104.432	80.563	80.028	9.521	8.976	8.976	9.868	1.353	3.231	2.593	1.353	273.468	309.372	258.378	271.252	88.3	100	83.5	87.6		
Po 1	131.710	129.712	124.572	134.852	13.982	13.391	16.643	15.038	60.187	51.801	70.484	64.539	205.879	194.904	211.699	214.429	105.6	100	108.6	110.0	84.666	76.638	81.027	86.842	42.390	44.630	40.465	39.969	1.616	1.315	1.841	1.691	335.551	317.487	335.032	342.931	105.6	100	105.5	108.0		
Po 2	139.991	143.204	142.561	142.204	19.727	21.543	23.487	21.924	65.537	61.312	68.849	67.002	225.255	226.059	234.897	231.130	99.6	100	103.9	102.2	75.425	74.783	77.245	82.454	42.498	41.208	39.572	43.490	1.578	1.428	1.691	2.368	344.756	344.650	353.405	359.442	100.0	100	102.5	104.2		
Po M	136.636	137.279	133.781	138.992	17.404	17.953	20.487	10.051	63.993	57.045	69.465	65.771	218.033	227.231	223.733	223.814	95.9	100	98.4	98.5	79.136	75.069	78.886	84.381	42.845	42.746	39.820	41.952	1.578	1.390	1.766	2.067	341.592	346.436	344.204	352.214	98.6	100	99.3	101.6		
1948																																										
Bu	148.130	139.135	169.332	139.920	27.669	27.246	27.055	27.457	24.139	27.620	23.926	27.387	199.938	194.001	220.313	194.764	103.0	100	113.5	100.3	68.789	74.176	84.916	77.459	9.273	9.868	8.777	10.116	2.894	2.593	3.157	1.729	280.894	281.138	317.160	285.068	99.9	100	112.8	101.3		
Po 1	179.112	178.755	176.878	182.896	21.839	22.560	22.262	20.741	38.745	41.038	40.847	38.554	234.696	242.353	240.007	242.191	98.9	100	99.0	99.9	104.429	112.317	119.239	122.629	24.993	24.299	24.993	25.489	1.428	1.015	1.165	1.165	370.546	379.964	385.404	391.474	97.5	100	101.4	103.0		
1949																																										
Fe	141.134	140.418	149.918	141.919	17.108	18.418	17.868	17.868	34.626	35.263	35.390	37.089	192.868	147.099	197.176	196.876	97.8	100	100.0	99.8	77.174	82.597	94.585	85.201	26.976	25.241	27.869	30.200	0.714	0.977	1.203	1.089	297.732	305.914	320.833	312.277	97.3	100	104.8	102.0		
Fr	25.485	21.559	22.416	26.057	7.181	6.590	6.716	6.672	3.609	3.312	3.376	3.354	36.275	31.461	32.508	36.083	115.3	100	103.3	114.6	2.819	4.317	4.210	2.248	3.372	3.372	3.620	3.471	—	—	—	—	42.466	39.150	40.338	41.802	106.4	100	103.0	106.7		
1950																																										
Bu	114.292	116.219	108.938	108.010	19.727	18.418	17.995	18.798	16.007	14.755	14.564	18.088	150.026	149.392	141.497	144.896	100.4	100	94.7	96.9	87.619	87.164	96.726	79.743	9.521	8.083	7.339	8.033	2.217	2.480	2.631	3.682	249.463	247.119	248.193	236.354	100.5	100	100.4	95.6		
Po 1	244.646	251.285	258.709	269.346	64.630	56.055	60.913	59.097	49.508	42.906	45.772	43.606	358.813	350.246	363.394	372.049	102.3	100	104.3	106.2	46.668	50.022	46.133	57.265	22.711	22.563	22.513	21.274	0.451	2.931	2.518	2.480	428.613	425.762	436.558	433.068	100.6	100	102.5	106.4		
Fe J	168.404	167.761	168.190	169.617	18.375	19.558	18.755	18.798	36.664	35.666	35.815	33.501	223.443	222.985	222.611	221.916	100.2	100	99.8	99.5	85.844	77.959	78.886	74.141	34.761	32.678	29.406	33.423	1.052	1.052	1.090	0.940	345.100	334.674	331.993	330.420	103.1	100	99.1	98.7		
Fe A	167.119	158.695	161.836	168.118	16.094	20.825	16.939	17.530	37.046	34.159	34.626	36.834	222.103	213.679	213.401	222.482	103.9	100	99.8	104.1	96.155	97.297	102.399	93.657	29.406	29.456	28.117	25.687	1.390	1.315	0.864	0.413	349.054	341.747	344.781	342.239	102.1	100	100.8	100.1		
Fe M	168.047	163.264	165.049	168.832	17.192	18.080	17.868	18.164	36.855	34.881	35.221	35.178	222.982	216.225	218.138	222.174	103.1	100	100.8	102.7	90.981	87.628	90.660	83.381	31.092	31.291	31.291	29.555	1.240	1.165	0.977	0.601	346.295	336.309	341.066	330.211	102.9	100	101.4	100.0		
Fe + Po 1	170.474	160.337	163.478	171.330	17.066	17.657	18.037	18.924	36.621	35.963	35.030	35.709	224.161	213.957	216.545	225.963	104.7	100	101.2	105.6	92.337	93.193	95.584	89.697	26.034	26.580	26.530	23.803	1.315	1.466	1.052	0.526	343.847	334.707	339.711	339.989	102.7	100	101.4	101.5		
Fe + Po 1 + Bu	176.328	173.229	175.471	179.683	27.768	22.304	22.642	22.726	38.256	35.794	36.388	36.112	237.352	231.327	234.501	238.521	102.6	100	101.3	103.1	86.058	83.453	85.701	80.956	30.299	31.241	30.299	28.662	1.165	0.977	1.165	0.864	354.874	346.998	351.666	349.003	102.2	100	101.3	100.5		
Bi J	100.657	102.013	99.586	98.801	17.868	17.192	17.742	18.924	30.465	25.773	25.073	28.084	148.990	144.978	142.401	146.109	102.7	100	98.2	100.7	87.449	83.392	84.131	81.812	22.414	22.563	21.670	22.662	0.639	0.789	0.489	0.489	259.492	251.712	248.691	254.072	103.0	100	98.7	100.4		
Bi A	92.233	94.517	92.447	92.304	16.516	15.799	16.263	17.150	26.495	22.971	22.546	25.115	135.244	133.287	131.256	134.569	101.4	100	98.4	100.9	88.591	84.773	84.202	82.597	21.571	21.522	20.579	20.777	0.564	0.714	0.376	0.376	245.970	240.296	236.413	238.419	102.3	100	98.3	99.2		
Bi M	84.809	84.452	83.093	83.667	16.221	14.869	14.742	15.249	24.988	23.586	22.759	22.843	126.018	122.907	120.594	121.759	102.5	100	98.1	99.0	85.130	82.169	82.383	82.454	17.509	18.546	17.654	18.150	1.127	1.390	0.940	1.015	229.784	225.012	221.571	223.378	102.1	100	99.4	99.2		
Fr	35.408	34.480	35.837	35.194	7.773	7.392	7.646	7.730	27.047	24.521	26.092	26.389	70.228	66.393	69.575	69.313	105.7	100	104.7	104.3	6.743	4.852	4.817	5.637	5.554	5.356	5.058	4.612	0.564	0.451	0.338	0.338	83.089	77.052	79.788	79.900	107.9	100	103.5	103.6		
1952																																										

Si nous rapprochons les valeurs relatives des rendements de celles obtenues finalement au tableau 14, pour l'équilibre chimique exprimé en milliéquivalents pour les divers éléments analysés ($N + P_2O_5 + K_2O + CaO + MgO + Fe_2O_3$), on obtient la comparaison suivante :

Parcelles	I bis	I	II	III
Equilibre chimique	100	100	100,9	104,1
Rendements	84,5	100	129	109,7

Ces différences tendent à prouver que si la production dépend essentiellement de l'état alimentaire, elle est également sous l'action d'autres facteurs. Il est cependant important de noter que chez le pommier, dans le cadre de l'essai réalisé, le phénomène de la production ne peut être lié à celui de la composition des organes.



DISCUSSION DES RESULTATS

L'essai, dont les résultats chimiques viennent d'être exposés, avait pour objet de contrôler l'influence de doses croissantes de fumures N - P - K sur le niveau minéral des organes appartenant aux sujets ainsi traités. La technique du diagnostic foliaire, déjà classique pour les études de la nutrition minérale, fut également appliquée dans ce cas. Il lui fallait, dans les conditions envisagées de l'expérience, donner la preuve de ses possibilités ou démontrer ses limites d'application.

En faisant varier les doses du même équilibre nutritif, on s'attendait à obtenir des renseignements sur la corrélation entre la fumure appliquée et la nutrition contrôlée par l'analyse des feuilles, des bourgeons, des rameaux. L'influence de fumures unilatérales ou déséquilibrées, pour autant qu'elles soient appliquées en excès relatif ou dans un milieu déshérité, se marque en effet d'une façon contrôlable par le diagnostic des organes. Dans le cas de notre expérience, les doses croissantes du même équilibre nutritif furent appliquées dans un verger expérimental qui avait reçu précédemment des soins normaux.

Les tableaux résumant les analyses chimiques contiennent 1300 résultats environ. Ils permettent de comparer le niveau nutritif à différents stades du développement et cela pour quelques organes distincts : feuilles, bourgeons, rameaux et fruits. Mais, si d'une part le grand nombre des résultats apporte plus de lumière sur le problème, de l'autre il possède l'inconvénient de compliquer la tendance essentielle que nous cherchons à dégager. C'est pourquoi nous avons cru utile et nécessaire de procéder à des synthèses de ces résultats analytiques.

Les tableaux 13 et 14 donnent les résultats exprimés en moyennes. Ce sont, tout d'abord, les moyennes annuelles d'un organe et d'un élément. Viennent ensuite les moyennes annuelles des organes similaires, par exemple la moyenne des feuilles récoltées sur des rameaux de l'année + les feuilles des rameaux de deux ans. Ensuite, nous avons groupé tous les organes analysés de la même parcelle en moyenne annuelle d'un seul élément. Les moyennes de plusieurs années sont établies pour le même organe et aboutissent à la moyenne générale d'un élément pour une parcelle de l'essai. Par la suite, nous reprenons plusieurs éléments, et pour commencer $N + P_2O_5 + K_2O$ exprimés en milliéquivalents, ceci afin de pouvoir les comparer à la fumure apportée aux parcelles sous forme d'un équilibre bien défini : $N + P_2O_5 + K_2O$. Ici aussi, les stades moyens d'un organe, moyenne annuelle de tous les organes, moyenne pour toute la période d'expérimentation, moyenne générale, furent établis. Enfin nous arrivons à définir les moyennes de la somme des éléments étudiés, toujours selon le schéma exposé.

Les proportions, exprimées en valeurs relatives, complètent chaque tableau, ceci afin de permettre d'apprécier les nuances à l'aide de chiffres ramenés à la grandeur conventionnelle.

Une remarque s'impose. Cette façon de procéder à la synthèse en moyenne de résultats chimiques est trop mécanique pour ne pas choquer le biologiste. En effet, les résultats ainsi obtenus ne reflètent plus la composition réelle de l'organisme étudié. Nous ne savons pas encore mesurer l'importance proportionnelle des organes dont les échantillons nous ont servi de matériel d'analyse. Nous n'avons donc pas pu calculer la composition réelle. Il convient d'insister sur le fait que les moyennes établies par cette méthode ne représentent qu'une tendance mathématique des valeurs chimiques disponibles. Ces chiffres n'ont nullement la prétention de donner une valeur moyenne réelle de la composition des organes de nos pommiers.

Le procédé appliqué par nous permet de démontrer d'une façon simple et suggestive l'aspect mathématique de nos nombreux résultats, ainsi que la tendance qui en résulte. Nous soulignons ce fait afin d'éviter toute confusion possible. Dans une prochaine publication nous reviendrons sur ce sujet, sur une base plus étendue et plus complète. En effet, il nous a été possible de comparer les tendances mathématiques de nos résultats avec l'aspect réel de la question.

CONCLUSIONS GENERALES

L'influence de doses croissantes de la fumure N P K sur la composition des organes analysés peut se traduire par les conclusions suivantes, dans le cadre de l'essai envisagé :

L'azote ne donne pas de différences significatives, à l'exception des fruits en 1949. Les moyennes de plusieurs prélèvements annuels ainsi que les moyennes de toutes les années ont une tendance à se rapprocher très sensiblement pour les trois doses de fumure appliquées en injection ou en surface. En cumulant les résultats dans une moyenne générale on obtient des valeurs tout à fait identiques.

Le phosphore donne en général des écarts un peu plus grands que l'azote ; la potasse semble s'accumuler davantage dans les parcelles à plus fortes doses et la parcelle fumée en surface. Comme dans le cas de l'azote les différences disparaissent dans les moyennes totales pour le phosphore et s'atténuent sensiblement pour la potasse. Cette dernière atteint 12 % d'augmentation au maximum dans la double dose de feuilles.

Pour les éléments qui n'ont pas été apporté en fumure, on constate dans l'ensemble qu'il n'y a pas de différences significatives. La chaux augmente dans les doses supérieures tandis que la magnésie semblerait être déprimée par de fortes doses de fumure. Nous ne pouvons enfin considérer les différences enregistrées dans le cas du fer comme significatives.

L'influence de doses croissantes de la fumure sur la somme des éléments : $N + P + K$ retrouvée dans les différents organes, et surtout

dans les moyennes cumulées, n'est guère significative. Elle est tout de même accentuée et proportionnelle dans le cas de fruits et de feuilles.

Le même caractère général se présente aussi pour la somme des éléments : $N + P + K + Ca + Mg + Fe$.

Une constatation générale peut être dégagée de l'ensemble : l'influence des doses croissantes de la fumure s'atténue dans la composition chimique des organes au fur et à mesure qu'on multiplie le nombre d'observations durant une ou plusieurs années, de même lorsqu'on additionne les résultats de plusieurs organes analysés. Cette constatation nous semble être d'une grande importance pour l'ensemble de la physiologie de la nutrition minérale ainsi que pour les questions relatives au rôle du diagnostic foliaire.

RESUME

Les doses croissantes d'une fumure équilibrée, appliquées dans un essai sur pommiers à hautes tiges, ne se sont pas manifestées d'une façon significative dans la composition chimique des organes analysés. Ces organes bourgeons, feuilles, rameaux et fruits, ont été récoltés pendant 5 années consécutives totalisant 53 échantillons par parcelle. Les déterminations chimiques comprenaient 6 éléments (N, P, K, Ca, Mg, Fe).

Comparant les chiffres illustrant la production des parcelles et ceux résultant de l'analyse chimique des organes étudiés, on arrive à conclure que ces deux données ne sont pas étroitement liées.

BIBLIOGRAPHIE

1. Centre de recherches de la Ligue Pomologique pour la Défense du Fruit belge. Rapport général pour les années 1947 et 1948 — 172 p. (polycopié).
2. Id. Rapport Général sur les travaux effectués pendant les années 1949-1950 — 1^{re} partie, 61 p. (polycopié).
3. Comité National pour l'Etude de la Culture fruitière (I.R.S.I.A.) — Etude de l'effet de l'application de différentes doses d'engrais sur la production fruitière globale des vergers. Rapport 1950-1951 — 91 pages. (dactylographié).
4. LIARD, O. — A propos de quelques essais sur la fumure des arbres fruitiers. Le Fruit belge, n° 154, p. 81-88, 1954.
5. LECRENIER, DERMINE et TRZCINSKI. — Contribution à l'étude de la nutrition du Pommier par un essai en vases de végétation. 1^{re} partie : étude statique. Bull. Inst. Agr. Stat. Rech., Gembloux, Tome XXI, n°s 3-4, pp. 26-41, 1953.

Microbiologie et amélioration du sol (*)

par

Paul MANIL

« Les microbes représentent les glandes digestives des végétaux supérieurs ; sans eux, il n'y aurait pas de végétation possible, pas d'herbe dans les prés, pas de fleurs dans nos parterres, ni de légumes sur nos tables. »

Emile MARCHAL, mars 1893.

Depuis plus d'un demi-siècle, l'importance primordiale de l'activité microbienne, au sein du sol, fut mise en évidence. Evoquons ici les noms des pionniers de la Microbiologie et de la Biochimie : les MUNTZ, les DEHÉRAIN, les LAWES et GILBERT, les BEYERINCK, les WINOGRADSKY, les NOBBE, les MARCHAL, et bien d'autres.

Peu à peu, la Microbiologie du sol s'est individualisée, en tant que science ayant son objet et ses méthodes propres. Il suffit, pour s'en rendre compte, de songer, par exemple, au nombre sans cesse croissant d'ouvrages ou de cours universitaires affectés dans le monde entier à cette branche des sciences biologiques.

Biogénèse de l'humus, cycle du carbone, fixation de l'azote, symbiotique et non symbiotique, nitrification, dénitrification, cycles du soufre, du phosphore, du fer, et d'autres éléments, problème de la rhizosphère et des mycorrhizes, désinfection du sol, structure du sol, et d'autres questions encore constituent des chapitres de cette science complexe, où des problèmes de systématique, de physiologie, de biochimie microbiennes se mêlent à des problèmes de « microphytosociologie », d'écologie, de pédologie, de phytotechnie.

Un sol peut se caractériser par ses propriétés biologiques. « La terre est quelque chose de vivant » a écrit Berthelot, il y a longtemps.

(*) Déposé à la rédaction le 17 mars 1955.

Ce n'est pas notre propos de passer ici en revue les méthodes qui permettent de déterminer l'état biodynamique d'un sol, aux divers points de vue.

Disons seulement que des méthodes souvent simples permettent d'apprécier les pouvoirs nitrifiant, dénitrifiant, ammonisant, fixateur d'azote, cellulolytique du sol, l'intensité des phénomènes respiratoires, la densité de la population microbienne du sol, et sa nature.

Le but de notre exposé est de montrer comment certaines études microbiologiques permettent de juger de l'état ou du besoin d'amélioration du sol ou d'apprécier l'efficacité des traitements appliqués.

Les indications que nous allons donner le sont à titre d'exemples : elles auraient pu être multipliées, on le conçoit aisément.

*
**

Il y a longtemps que l'on a étudié les relations entre la teneur en eau du sol et sa population microbienne. On a montré, par exemple, que le taux d'humidité avait, à cet égard, plus d'importance que la température, entre certaines limites (1).

VAN SUCHTELEN (2) a observé qu'en élevant le taux d'humidité d'un sol donné, de 6 à 14 %, on obtenait une augmentation du nombre de bactéries hétérotrophes, de 10 à 16,6 millions par gramme de terre.

La production de CO₂ constitue du reste une excellente mesure de l'activité et de la pullulation microbiennes (3).

Une étude, déjà ancienne, elle aussi, de GREAVES, montre l'influence de l'irrigation sur la distribution en profondeur des microorganismes. Voici quelques chiffres donnés par GREAVES (4) :

Profondeur	Sol irrigué	Sol non irrigué
1 pied	6.240.000 par g	4.372.000
2 pieds	2.760.000	1.267.000
3 pieds	1.147.000	1.174.000

ENCBERDING (cité par WAKSMAN) (5) donne les chiffres suivants :

Nombre de bactéries (en milliers par gr de sol)

Teneur en eau (%)	% de la capacité de rétention	Nombre de bactéries	Nombre relatif (%)
6,5	30	9.980	33
10,9	50	11.800	40
14,1	65	16.410	55
17,4	80	29.960	100
21,7	100	25.280	84

1) Voir, par exemple PATTERSON, J. W. et SCOTT, P. H. 1912. *Journ. Dept. Agric. Victoria*, 10, p. 275-282.

2) VAN SUCHTELEN, F. H. H. 1910. *Centralbl. Bakt.* II, 28, p. 45-89.

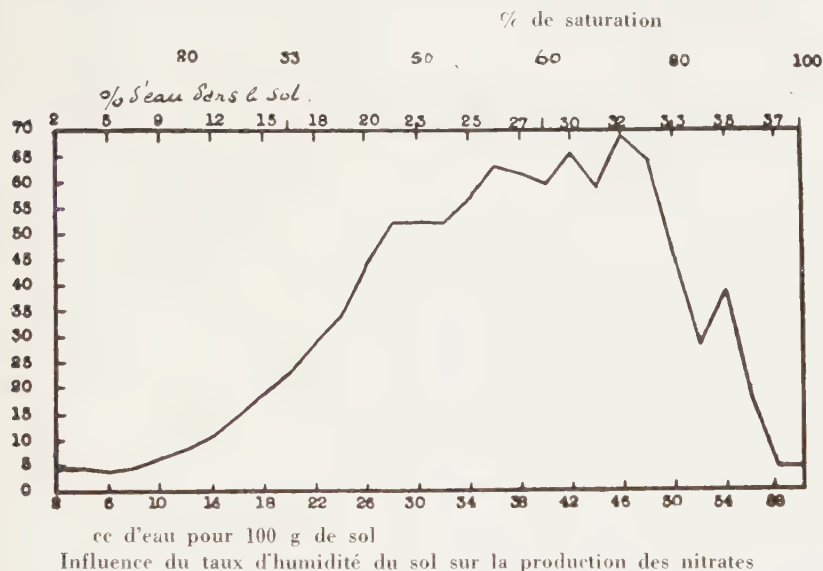
3) LOHNIS, F. 1905. *Mitt. landw. Inst. Leipzig*, 7, p. 1-105

4) GREAVES, J. E. 1922. *Agric. Bacteriology*. Lea et Febiger, Philadelphia.

5) WAKSMAN, S. A. 1952. *Soil Microbiology*. John Wiley et Sons, Inc. New-York.

Si nous envisageons maintenant l'un des aspects les plus importants de la biochimie du sol, la nitrification, nous trouvons dans la littérature une série imposante de données sur les relations entre taux d'humidité du sol et apparition des nitrates.

Le graphique suivant traduit les observations faites par GAINNEY (6). (Graphique 1).



GRAPHIQUE 1

LEES et QUASTEL (7) ont observé les relations suivantes entre la teneur en eau et l'intensité de la nitrification au sein d'échantillons de sol.

Expérience a)

Teneur en eau du sol (%)	N nitrique formé par g de sol (en μg)	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ nitrifié (%)
16	75	33,5
27	119	53,0
36	203	90,5
42	24	11,0
48	29	13,0
52	27	12,0

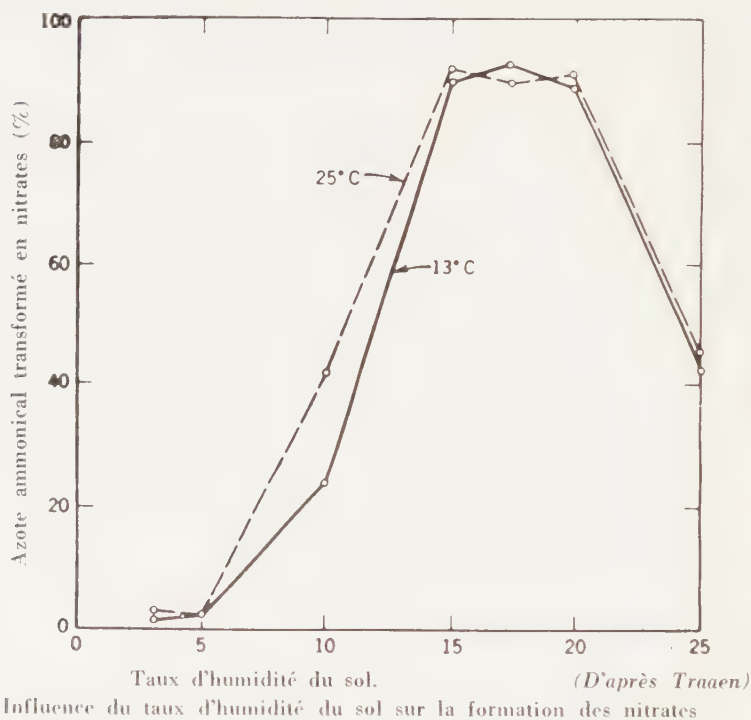
6) Cité par WAKSMAN, S. A. 1932. *Principles of Soil Microbiology*, The Williams and Wilkins Co, Baltimore.

7) LEES, H. et QUASTEL, J. H. 1946. *The Bioch. Journ.* 40, p. 803-815.

Expérience b)

11	105	52,5
20	126	63,0
27	184	92,0
33	170	85,0
38	16	8,0
43	2	1,0

TRAAEN, de son côté, résume comme suit les résultats qu'il a obtenus (7) (Graphique 2).



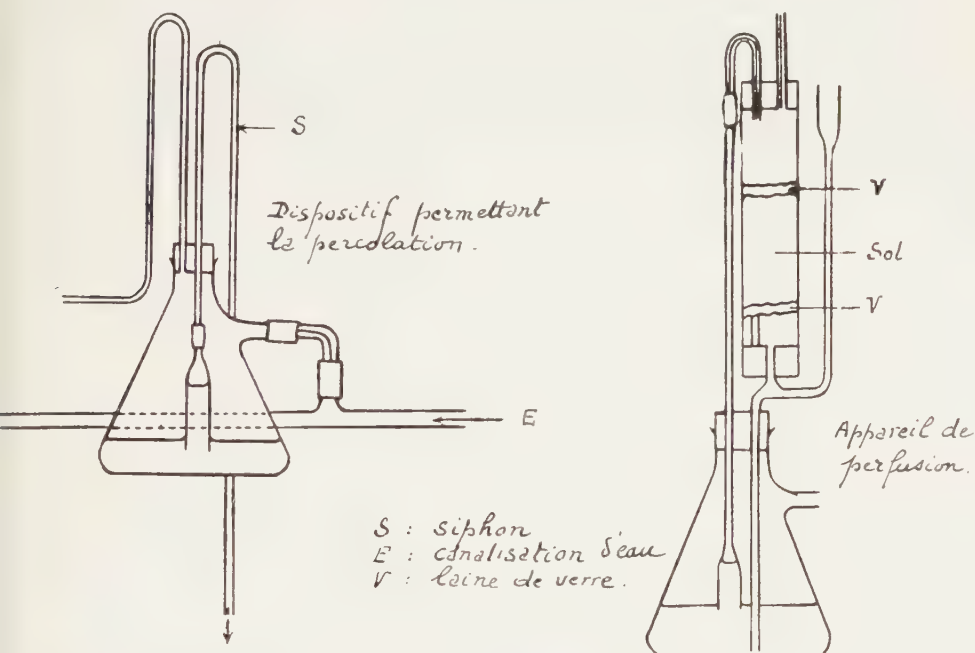
GRAPHIQUE 2

LEES et QUASTEL utilisèrent la technique dite « de perfusion ». L'appareil qu'ils emploient se trouve schématisé p. 199 (Fig. 1).

La formule : $\log \frac{y}{A-y} = K (t - t_1)$ indique les relations entre :

- y : N nitrique produit par g de sol ;
- A : valeur asymptotique atteinte par y ;
- t : temps (jours) de la perfusion ;
- t_1 : temps quand $y = A/2$;
- K : constante (« velocity constant »).

8) TRAAEN, A. E. 1916. *Centralbl. Bakt.* II, 45, p. 119-135.

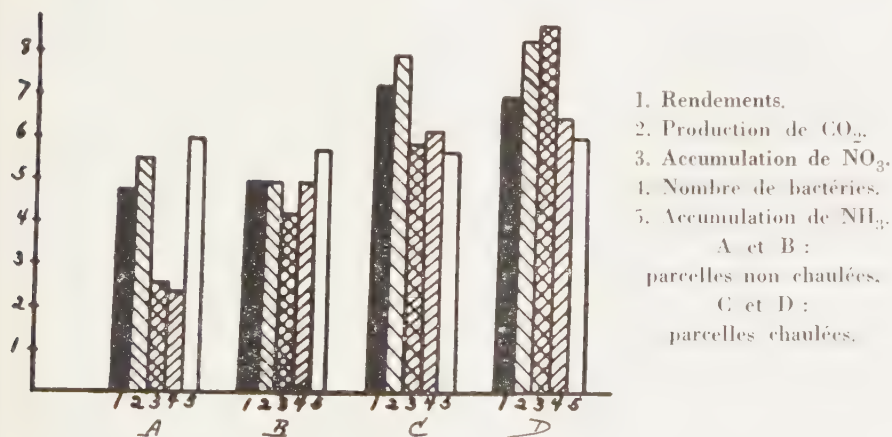


(D'après H. Lees)

FIG. 1

Il est certain, et nombre d'auteurs le notent, que l'influence du taux d'humidité du sol sur la nitrification (et sur d'autres processus biochimiques) dépend également du type de sol, de son pH et d'autres facteurs encore.

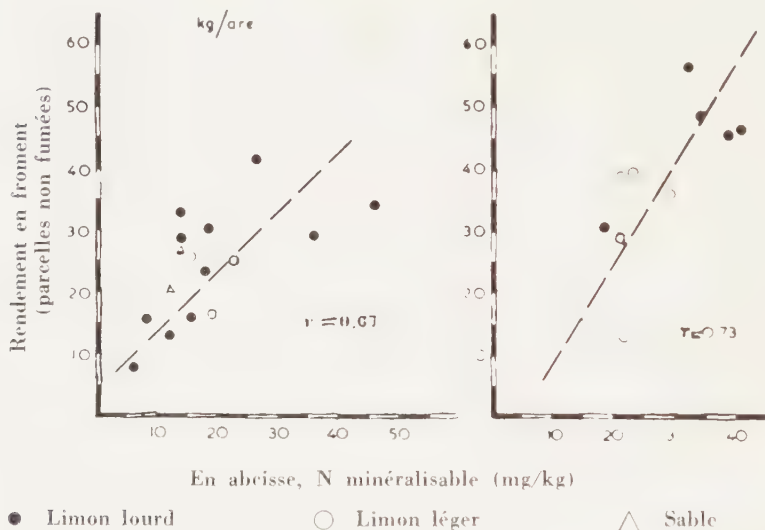
Mais l'intensité de la nitrification semble être un critère très sérieux de la productivité d'un sol agricole.



GRAPHIQUE 3

(D'après Neller)

Il suffit de considérer; parmi beaucoup d'autres les diagrammes établis par NELLER, d'une part, par VAN SCHREVEN, d'autre part (9) (10) (Graphiques 3 et 4). Nous reviendrons plus loin sur les travaux de VAN SCHREVEN, effectués sous les auspices de la Direction du Wieringermeer (« Noord-oostpolderwerken ») en Hollande.



(D'après Van Schreven)

GRAPHIQUE 1

Envisageant la population microbienne totale, et la productivité du sol, WAKSMAN donne le graphique 5, figurant page 201.

Aux Etats-Unis, les Services de Conservation des Sols se sont penchés sur ces problèmes.

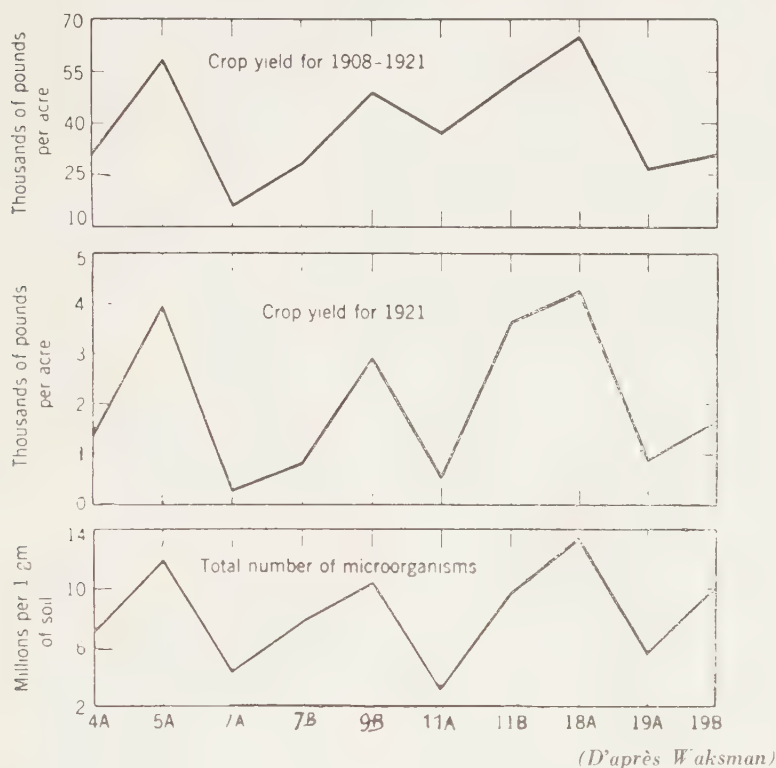
Extrayons les phrases suivantes, d'une circulaire éditée par les Services Agronomiques Américains (11) :

« In a soil conservation program, it is of vital importance that the » erosion control practices be in harmony with the biological activities » of the soil, particularly the nitrifying bacteria. Practices that conflict » with the production of available nutrients for the plants by the micro- » organisms result in the ultimate defeat of a particular conservation » method.

9) NELLER, J. R. 1920. *Soil Sci.* 10, p. 29-39.

10) VAN SCHREVEN, D. A. 1951. *Van Zee tot Land*. N° 5, p. 3-30.

11) McALLA, T. M. et GOODING, T. H. 1951. *Circular 90*, Nebraska Agric. Exp. Sta., in Cooperation with Soil Conservation Service Office of Research, U.S. Dept. of Agriculture.



GRAPHIQUE 5.

N° des parcelles

Rendement cultural et population microbienne du sol, pour diverses parcelles

» Working with the nitrifying bacteria in a manner that will produce
 » sufficient available nitrogen for the crop will result in a adequate
 » cover for the land, either as a growing crop or as residues to be used
 » later as a mulch.

» This will satisfy the first fundamental requirements of a good
 » conservation program ».

Nous nous arrêtons quelque peu aux travaux effectués en Hollande, sous la direction de VAN SCHREVEN, par les services d'assèchement et d'assainissement du Wieringermeer (10).

Le but de ces travaux était d'observer le rythme de l'établissement, dans les terres récupérées, d'une flore microbienne normale, en corrélation, du reste, avec la productivité de ces terres.

Nous extrayons du travail de VAN SCHREVEN, les 2 tableaux suivants, entre autres.

TABLEAU I
NOMBRE DE BACTERIES NITRIFIANTES (en millions par g de sol humide)
DANS LES SOLS DU « WIERINGERMEERPOLDER »

Types de sol	Immédiatement après l'assèchement		Sept. 1932		Janv. 1933		Sept. 1933		Août 1934		Sept. 1935		Sept. 1938		Sol témoin « vieux sol »	
	Nm	Nb	Nm	Nb	Nm	Nb	Nm	Nb	Nm	Nb	Nm	Nb	Nm	Nb	Nb	Nm
1	0,01x	sp	1,5	0,6	2,2	0,9	8	3,5	58	52	68	60	71	68	50	60
2	0,03x	sp	2	1,3	3,1	1,2	69	54	125	76	135	90	130	103	45	50
3	sp	sp	1,0	0,7	0,9	0,7	31	19	37	23	40	25	42	38	non déterminé	

(D'après Van Schreven)

x : nombre très peu élevé, pratiquement nul.

sp : sporadique

Nm : *Nitrosomonas*

Nb : *Nitrobacter*.

1) Argile

2) Limon

3) Sable grossier.

TABLEAU 2

Accroissement du nombre de bactéries dans une argile légère, après l'assèchement. (Noordoostpolder).

Août 1938 (immédiatement après le pompage :	± 1.000.000
Octobre 1938	± 1.000.000
Février 1939	± 5.500.000
Juin 1939	± 35.000.000
Septembre 1939	± 40.000.000
Juin 1940	± 50.000.000
» 1941	± 45.000.000
» 1943	± 50.000.000
Sol normal correspondant	± 55.000.000

Un terrain argileux lourd, drainé et labouré, a donné les chiffres bactériens suivants, par g de terre, à comparer (chiffres entre parenthèses) avec les comptages sur sol identique, non drainé et non labouré.

Nombre de microgermes	Bactéries décom- posant la cellulose	Azoto- bacter	Taux d'humidité	Teneur en NaCl
67.000.000 (9.000.000)	1.530.000 (148.000)	450 (10)	31.7 (29.7)	0.6 (3.4)

Toutes choses égales, la population microbienne variait selon le type de sol : sable fin, sable légèrement argileux, limon lourd, limon léger, argile.

Une mention spéciale est faite à la fixation symbiotique de l'azote : l'effet de l'inoculation fut particulièrement marqué dans les terres asséchées, surtout pour les *Medicago* et les lupins.

Les légumineuses ont du reste exercé un effet améliorant très net, surtout par l'enrichissement du sol en N. Nous avons déjà vu, d'ailleurs (graphique 4), comment la productivité des sols « récupérés » était en corrélation nette avec le taux de minéralisation de l'azote.

*
**

Arrêtons-nous un instant aux travaux de GREAVES et CARTER (12) touchant à des questions d'ordre écologique.

On utilise couramment en Ecologie les notions de « moisture équivalente » (ou « humidité équivalente »). (BRIGGS et LANE), de « coefficient de flétrissement » (« wilting coefficient »), de « permanent wilting percentage », etc.

Selon BRIGGS et SCHANTZ, le « coefficient de flétrissement »

$$= \frac{\text{l'« humidité équivalente »}}{1,84 \pm 0,013}$$

12) GREAVES, J. E. et CARTER, E. G. *Soil Sci.* 1920, 10, p. 361-387.
1922, 13, p. 251-270.

Divers auteurs (VEIHMEYER et HENDRICKSON, 1931 ; DUNCAN, 1939 ; COILE et GAISER, 1947 ; et d'autres, ont montré, notons-le, que le « coefficient de flétrissement » variait, dans de larges proportions, selon le type de sol (13).

Dans le domaine qui nous intéresse, GREAVES et CARTER, appliquant les formules de BRIGGS, ont trouvé les relations suivantes, exprimant le rapport entre eau du sol et certains processus microbiens :

$$M_{am} = 0,6 \quad c = 0,942 e + 12,6 = 1,74 w + 12,6 = 2,55 h + 12,6$$

$$M_n = 1,55 \quad c = 0,852 e + 11,55 = 1,472 w + 11,55 = 2,163 h + 11,5$$

$$M_{nf} = 0,7 \quad c = 1,049 e + 14,7 = 1,947 w + 14,7 = 2,848 h + 14,7$$

c : capacité de rétention de l'eau selon HILLGARD

w : coefficient de flétrissement

e : humidité équivalente

h : coefficient d'hygroscopicité

am : ammonification

n : nitrification

nf : fixation d'azote.

Il n'est pas de notre compétence d'apprécier ici la signification et la précision des déterminations mentionnées ci-dessus : « humidité équivalente », « coefficient de flétrissement », etc.

Retenons simplement le fait, important pour nous, que ces données furent appliquées à l'étude de processus microbiens d'importance capitale pour le sol, dont l'allure permet de caractériser un sol agricole, et d'apprécier l'efficacité des traitements subis par ce dernier.

Le type de sol, nous l'avons vu, doit évidemment être pris en considération.

Pour prendre un exemple, au hasard, citons des chiffres donnés par STOCKLASA et DOERELL (14)

TYPE DE SOL	teneur en C (%)	CO ₂ produit en 24 h (mg/kg de sol frais)	CO ₂ produit en 24 h (mg/kg de sol stérilisé, puis inoculé)
Sol argileux compact	1,68	8,2	14,0
Argile alluviale	2,12	14,8	27,8
Limon alluvial	1,73	36,5	59,8

*
13

13) Voir KRAMER, P. J. Plant and Soil Relationships, 1949. McGraw-Hill Book Co, Inc.

14) STOCKLASA, J. et DOERELL, E. G. 1926. Handbuch der physikalischen und der biochemischen Durchführung des Bodens. Berlin, Parey.

Le problème du travail du sol nous retiendra quelques instants. Ici encore, nous aurions pu multiplier les données.

Dans un article tout récent intitulé : « *Le Problème du Labour au Tracteur* », (15) T. BALLU, membre de l'Académie d'Agriculture de France, écrit ce qui suit :

« Ce problème est à l'ordre du jour, étant donnée l'ampleur du » développement de la motoculture.

« Il pourrait, d'une manière plus générale, être posé de la façon » suivante : " la qualité des travaux aratoires est-elle meilleure ou » moins bonne avec la traction inanimée qu'avec la traction animée ? „

« Avant de répondre à cette question, il faudrait d'abord pouvoir » définir ce qu'il faut entendre par " qualité „ des façons aratoires.

« Cela reviendrait à ouvrir la discussion actuellement en cours dans » différents pays sur les techniques culturales modernes à envisager pour » le proche avenir, compte tenu des impératifs nouveaux d'ordre tech- » nique, agricole, économique.

« L'intérêt de cette question n'a pas échappé à l'Académie d'Agri- » culture de France qui a désigné récemment une commission chargée » de l'étudier.

« Nous ne saurions l'aborder aujourd'hui, car elle déborderait trop » le cadre de cet article.

« Contentons-nous de dire que trois facteurs nouveaux sont de » nature à modifier plus ou moins profondément nos systèmes de culture » actuels établis par nos aïeux.

« C'est d'abord la *motorisation* qui modifie sensiblement le mode » de traction, le genre d'attelage, la largeur d'action et la vitesse des » instruments remorqués.

« Ce sont ensuite les notions nouvelles dont nous sommes redeva- » bles à la *Pédologie*, et qui nous apprennent qu'en fait le travail du » sol n'est qu'un problème de *structure*. Or, la structure n'est pas sous » la dépendance exclusive du travail de nos machines agricoles, mais » encore sous celle du dynamisme atmosphérique (pluies, gelées, etc.) » et du *dynamisme biologique interne des sols*...

« On en arrive à se demander si nos méthodes de culture ne gagne- » raient pas à être orientées plus vers les conditions de développement » optima des êtres conférant la vie aux sols, que vers les conditions » directes de développement des végétaux cultivés.

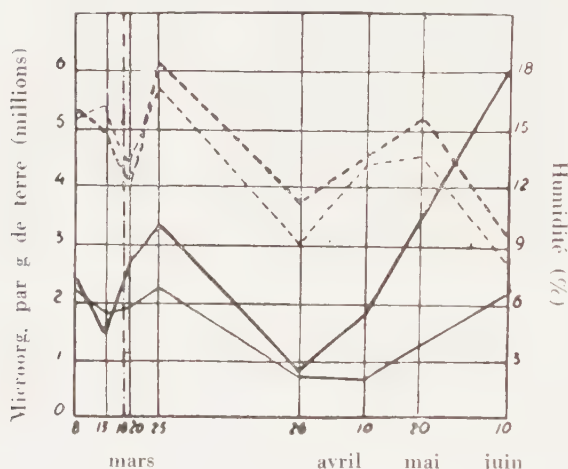
« De toute manière, il apparaît souhaitable qu'il y ait, plus que » par le passé, une meilleure harmonie entre les trois sources d'énergie » à la disposition du cultivateur : l'énergie atmosphérique, l'énergie

» *biochimique du sol, et l'énergie mécanique de nos machines aratoires...* » (*)

Nous nous excusons de cette longue citation. Mais elle situe très bien le problème tel que l'agronome doit actuellement l'envisager.

*
**

Pour prendre un exemple, l'influence du hersage sur la microflore fut mise en évidence par VERONA et GUASTINI (16) (Graphique 6).



Influence du hersage sur la teneur en eau et sur le nombre de microgermes du sol.

GRAPHIQUE 6

— Nombre de microgermes (terre hersée)
 - - - Humidité (terre hersée)
 — Nombre de microgermes (terre non hersée)
 - - - Humidité (terre non hersée)
 - - - - Date du hersage. (Verona et Guastini)

*
**

Influence des microgermes sur la structure du sol.

Depuis quelques années, l'influence des microorganismes sur la structure du sol, et leur rôle dans la lutte antiérosive, furent largement étudiés (WAKSMAN et MARTIN, 1939, 1940, 1941 ; PEELE, 1940 ; MYERS et MCCALLA, 1941 ; POHLMAN et NOTTINGHAM, 1941 ; HUBBEL et CHAPMAN, 1946 ; MARTIN, 1945, 1946 ; FULLER, 1946 ; MUCKEL, 1950, etc.).

En Angleterre, le Commonwealth Bureau of Soil Science s'est penché sur le problème ; aux U.S.A. les laboratoires dépendant du « Soil Conservation Service » ont procédé à des recherches systématiques.

(*) Ces deux phrases sont soulignées par l'auteur de la présente note.

16) Extrait de VERONA, O. 1947. Elementi di Microbiologia Pedologica. L. Macri, Ed., Florence.

Citons, un peu au hasard, quelques travaux :

— SWABY, R. J. : *The relations between micro-organisms and soil aggregation* (17)

Nous en extrayons les phrases suivantes : « This task of combating » erosion is closely linked with the problem of restoring the crumb » structure of soil. This paper deals with some aspects of the role of » microorganisms and organic matter in improving the aggregation of » soil ».

— T. M. McCALLA : *Influence of microorganisms and some organic substances on soil structure*. (Contribution by the Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture (18).

— T. M. McCALLA : *Studies on the effect of microorganisms on rate of percolation of water through the soil*. (Contribution by the Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture) (19).

Nous y lisons ces phrases : « Under certain conditions it may be » desirable to reduce percolation through the soil. Under other condi- » tions it may be desirable to increase intake. It appears possible that » by the proper management of microbial activity, by the addition of » organic matter, both reduction and an increase in percolation may be » accomplished ».

Dans ce dernier travail, McCALLA décrit le dispositif de percolation en série dont il s'est servi. En principe, l'eau passe à travers une colonne de terre de 35 (ou, dans d'autres cas de 23) cm de hauteur. Les échantillons de sol qu'il utilise ont subi des traitements divers favorisant ou non le développement microbien.

Citons quelques chiffres donnés par McCALLA :

En limon argileux humifère lourd, non traité, la percolation passa de 1,54 ml par heure, au début, à 152 ml, après 50 jours. A ce moment, on fait augmenter la population microbienne, par addition de saccharose, et l'on observe, après 2 jours seulement, une percolation de 67 et après 10 jours, de 14 ml/heure.

En limon sableux, les chiffres furent respectivement : 258, 172, 37 et 15 ml/heure, et, en loess éolien, 65, 97, 25 et 11.

Sous l'influence de déchets d'égrenage de coton, comme substrat nutritif bactérien, le volume d'eau percolée (en ml/heure) passa de 411 au début de l'essai, à 60 après 16 jours, 28 après 30 jours et 13 après 50 jours.

En présence d'un désinfectant supprimant la vie microbienne, le volume percolé ne descendit jamais en dessous de 352 ml après 50 jours.

17) SWABY, R. J. 1949. *Journ. Gen. Microb.* Vol. 3, n° 2, p. 236-254.

18) McCALLA, T. M. 1944. *Soil Sci.* Vol. 59, n° 4, p. 287-297.

19) McCALLA, T. M. 1951. *Soil Sci. Soc. of Amer. Proc.* Vol. 15, p. 182-186.

— ALLISON, dans un travail intitulé : « *Effect of microorganisms on permeability of soil under prolonged submergence* » (20), montre que la diminution de perméabilité observée dans un sol submergé un certain temps est due entièrement à l'activité microbienne.

Bref, ces données montrent le rôle joué par la microflore dans les mouvements de l'eau au sein du sol. L'agronome ne peut ignorer la chose.



Ce qui précède nous amène à envisager maintenant les « améliorants » synthétiques de la structure du sol. On connaît les immenses possibilités qu'offrent actuellement à l'agriculture et à l'horticulture, comme « améliorants » et « anti-érosifs » les produits du type Krilium. Seul, le prix de revient en restreint actuellement l'usage extensif. Mais on peut raisonnablement espérer que cet handicap disparaîtra à l'avenir.

On ne peut envisager l'amélioration « artificielle » de la structure du sol sans envisager ses répercussions sur la vie microbienne, et vice-versa.

En fait, dans notre laboratoire, HELY et BONNIER ont montré que les résines polyélectrolytiques, du type Krilium ou Aglusol, non seulement ne nuisent pas au développement microbien, mais favorisent celui-ci. Et comme les microorganismes exercent en général un effet heureux sur la structure, l'effet des « améliorants » est ainsi « à deux étages » pourrait-on dire, une amélioration secondaire due aux microgermes venant s'ajouter à l'amélioration « primaire » due à la résine synthétique.

Par exemple, HELY et BONNIER (21) ont montré que, pour des doses d'Aglusol de 0,01 % ; 0,05 % et 0,10 %, le nombre de bactéries productrices de « gommes » était, dans un loess, de 10, 18,93 et 62 millions par gramme, respectivement.

Dans d'autres conditions expérimentales, ces auteurs ont observé que, sous l'influence de 0,1 % d'Aglusol, le nombre de bactéries productrices de « gommes » passait, dans un sol, de 77 à 448 millions par gramme.

HELY et BONNIER montrèrent aussi que le traitement aux résines synthétiques augmentait significativement le nombre de *Streptomyces* et le nombre d'*Azotobacter* (22), ainsi que le nombre de *fungi* (23).

Ils notent que « d'une façon générale, les sols traités contiennent » beaucoup de colonies à mycelium très abondant, *Mucor* et *Fusarium*. » par exemple, *Penicillium candidum*, etc., et moins d'espèces à sporu-

20) ALLISON, L. E. 1947. *Soil Sci.* 63, p. 439-450.

21) HELY, F. W. et BONNIER, Ch. 1953. *Antonie van Leeuwenhoek*, 19, p. 211-223.

22) HELY, F. W. et BONNIER, Ch. 1954. *ibid.* 20, p. 359-373.

23) BONNIER, Ch. et HELY, F. W. 1953. *Bull. Inst. Agron. et Sta. Rech. Gembloux*, XXI, n° 1-2, p. 14-28.

» lation plus abondante et développement végétatif moindre, tels *Penicillium glaucum*, *Aspergillus niger*, etc. »

Ici encore, amélioration du sol et processus microbiens doivent être examinés de pair.

*
**

Nous terminerons par l'examen d'un problème déjà évoqué antérieurement, l'aération du sol, problème qui fut étudié récemment au moyen de techniques microbiologiques très élégantes, dont nous allons dire un mot.

Il s'agit d'abord d'un travail publié par WEBLEY, sous le titre : « *A technique for the study of oxygen availability to micro-organisms in soil and its possible use as an index of soil aeration* » (24).

Voici le principe de cette technique : on ajoute dans certaines conditions une suspension bactérienne lavée, additionnée d'un excès de composé oxydable, à un poids donné de terre séchée à l'air, tamisée (fraction 1-2 mm), et répartie dans les fioles d'un respiromètre de Warburg. La consommation d'oxygène par la culture bactérienne est fonction du degré d'aération du sol. On compare l'intensité de la respiration dans les conditions décrites (I/n) avec l'intensité respiratoire en conditions optimales (n).

La fraction I/n exprimée comme un % de l'optimum est le « facteur d'aération » (A.F.) du sol.

Ce « facteur d'aération » dépend de la teneur en eau du sol et de la proportion des agrégats détruits. Comme l'« A.F. » mesure l'effet résultant de ces deux facteurs il peut être considéré comme un index du degré d'aération du sol.

QUASTEL et WEBLEY ont étudié les variations du « facteur d'aération » dans des sols traités par l'alginate de Na, l'acétate de cellulose, la méthylcellulose, la paille, le fumier, etc. (25)

ELLINGER et QUASTEL, en 1948, utilisant la levure, ont effectué une série d'essais portant sur l'activité respiratoire, en Warburg, de micro-organismes adsorbés sur des solides contenant des taux d'humidité variés. Ils envisagent l'application de leur technique à l'étude du sol. (26)

QUASTEL, en 1952, a effectivement appliqué avec succès cette technique à l'étude du sol traité par divers « améliorants » (alginate, krium, etc.) (27)

Ici encore, nous voyons donc que des techniques microbiologiques relativement simples et aisément « standardisables » permettent d'apprécier certaines caractéristiques d'un sol.

*
**

24) WEBLEY, D. M. 1947. *Journ. Agric. Sci.* 37, p. 249-256.

25) QUASTEL, J. H. et WEBLEY, D. M. 1947. *Journ. Agric. Sci.* 37, p. 257-266.

26) ELLINGER, G. et QUASTEL, J. H. 1948. *The Bioch. Journ.* Vol. 42, n° 2, p. 218.

27) QUASTEL, J. H. 1952. *Sci. progress.* Vol. XL, n° 159, u. 385-402.

Nous aurions voulu parler aussi des travaux récents effectués par divers auteurs allemands (HOFFMANN, KOEPF, SEEGERER, et d'autres) sur l'activité enzymatique du sol.

On peut ainsi étudier non seulement l'activité respiratoire du sol mais aussi l'activité de certains enzymes (saccharase, amylase, glucosidase, uréase, etc.) reflétant l'activité microbienne.

Prenons un exemple extrait d'une publication de H. KOEPF (28).

Il s'agit d'une comparaison entre l'activité « saccharase », « uréase », « β -glucosidase » du sol ; la production de CO₂, en fonction du type de sol, apprécié par la teneur en particules de moins de 0,01 mm ; la teneur en C et la teneur en N.

Les coefficients de corrélation entre ces divers éléments sont donnés dans le tableau suivant :

	Teneur en particules de moins de 0,01 mm	Teneur en C	Teneur en N	Particules < 0,01 mm et teneur en C	Particules < 0,01 mm et teneur en N
Activité « saccharase »	0,82	0,86	—	0,89	—
« uréase »	0,69	—	0,79	—	0,80
« β -glucosidase »	0,72	0,80	—	0,81	—
CO ₂	0,52	0,54	—	0,56	—

La teneur en enzymes est donc étroitement liée au type lithologique de sol, et à la teneur en C et N.

Il faut noter que, pour les sols étudiés, la teneur en particules de moins de 0,01 mm variait de 10,4 à 52,0 %, la teneur en C organique de 0,90 à 3,22 % et le rapport C/N allait de plus de 10 à 8,2.

Le présent article eût pu être beaucoup plus long, citer de plus nombreux auteurs, exposer des observations, des expériences, des techniques plus variées. Evoquons ici, par exemple, des ouvrages comme ceux de WAKSMAN, de VERONA, déjà mentionnés (5), (16), ceux de POCHON (29), d'O. N. ALLEN (30).

28) KOEPF, H. 1954. Zeitschr. f. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde. 67, 3, p. 262-270.

29) POCHON, J. 1954. Manuel technique d'Analyse Microbiologique du Sol, Masson et C^{ie}, Editeurs, Paris.

30) ALLEN, O. N. 1949. Experiments in Soil Bacteriology. Burgess Publishing Cy. Minneapolis.

Mais notre but fut simplement de mettre en évidence un certain nombre de faits et de techniques en rapport direct l'amélioration foncière.

Des méthodes microbiologiques ou biochimiques permettent d'évaluer, voire de chiffrer, les modifications heureuses ou malheureuses subies par le sol agricole.

Ces méthodes complètent et précisent les données fournies par la Pédologie et l'Ecologie.

Citons ici WINOGRADSKY : « On pourrait dire que les processus microbiens dans le sol sont composés d'une multitude de phases qui se superposent, chacune liée à l'action d'un seul agent, ou d'un petit groupe d'agents microbiens : phases souvent éphémères, mais que le microbiologiste doit "saisir au vol", s'il veut comprendre l'activité des microbes dans le sol.

» C'est dire qu'àuprès de la microbiologie actuelle, qu'on pourrait qualifier de "statique", notre branche devra inaugurer en quelque sorte une "microbiologie dynamique" sans laquelle nous croyons impossible de venir à bout des questions qui intéressent la science du sol.

» Travail immense ! Il n'y a qu'à songer au nombre de substances différentes qui sont offertes comme proie aux microbes du sol, aux combinaisons innombrables des conditions concomitantes, aux terres différentes au point de vue minéralogique, chimique, physique, aux climats différents.

» Mais, quand, avec le concours de nombreux chercheurs, ce travail sera suffisamment avancé, ce n'est qu'alors que l'on pourra parler de Microbiologie agricole comme d'une science constituée, dont l'importance pour l'Agriculture ne pourra être estimée assez haut » (31).

Ces phrases furent écrites en 1924.

En 1945, WINOGRADSKY s'exprima en ces termes :

« La microbiologie du sol ne saurait être limitée à la morphologie et à la physiologie microbiennes, ainsi qu'à des études biochimiques, ses problèmes fondamentaux étant plutôt de nature écologique. »

Bien sûr, le sol reste un immense « réservoir » de microbes où le microbiologiste n'a qu'à puiser pour trouver des bactéries ou des fungi utilisables par la science et l'industrie. Que l'on songe par exemple, aux antibiotiques, ou à toute une série de fermentations aux chimismes extrêmement variés.

31) WINOGRADSKY, S. 1949. *Microbiologie du Sol. Problèmes et méthodes*. Masson et C^{ie}, Editeurs, Paris.

Mais le but de la microbiologie du sol, en tant que telle, n'est pas là. Il s'agit de voir ce que font les microbes *dans le sol*, et non pas seulement dans nos ballons de laboratoire. Si des techniques de laboratoire restent bien entendu, indispensables, elles tendent, soit à évaluer, à un moment donné, l'état biodynamique du sol, soit à réaliser expérimentalement des conditions aussi voisines que possible des conditions naturelles.

Et c'est ainsi que l'on voit, par exemple, les problèmes d'assainissement ou de travail du sol envisagés sous leur aspect microbiologique, aspect fondamental du reste.

Juger de la valeur agricole actuelle d'un sol par voie microbiologique ou biochimique constitue une « méthode d'approche » qui en vaut bien d'autres et qui, c'est le moins que l'on puisse dire, ne risque que de donner un complément très sérieux d'informations.

Il n'y a aucune raison, bien au contraire, pour que nos Services d'Amélioration du sol ne possèdent, à l'instar des Services correspondants américains, allemands ou hollandais, et d'autres encore, des laboratoires outillés pour l'étude pédologique, en général, et notamment l'étude biochimique en série, des sols soumis ou à soumettre à des traitements destinés à les améliorer.

Il est indispensable, en tous cas, que l'ingénieur-agronome qui aura à se pencher sur les problèmes techniques d'amélioration du sol, ou de lutte anti-érosive, ait clairement présentes à l'esprit l'importance et la signification des processus microbiens, au sein du sol.

La phytosociologie sur Saint-Michel ^(*)

par

V. TONNARD

Présentation

Suite à un article précédent (1), je voudrais présenter ici une carte phytosociologique de la région de Saint-Michel et essayer de définir quelques relations avec les autres sujets d'étude sur le même terrain.

On pourrait penser établir directement une relation phytosociologie-géologie. Le terrain du travail est, pour cela, mal choisi. Comme on le verra tantôt, la véritable relation est indirecte, par l'intermédiaire du relief, donc de la géomorphologie. Ceci s'explique pour trois raisons :

1) La région étudiée est *d'aspect sénile, très rabotée*. Les produits d'altération de la roche ont été plusieurs fois mêlés et confondus par la colluvionnement :

2) *Le complexe dévonien est monotone* et les alternances schisto-gréseuses peu faites pour permettre la mise en évidence des variations nettes :

3) Enfin, comme on le remarque dans tous les pays plus ou moins accidentés, *la végétation est plus sensible aux variations d'exposition qu'à la nature du sol*.

La carte phytosociologique représente une sorte de conclusion à l'ensemble des facteurs pédogénétiques, car elle en est la résultante, compte tenu des autres éléments du milieu.

Théoriquement, il semble plus aisé de dresser une carte phytosociologique qu'une carte pédologique : il suffit de faire des relevés et de définir les limites des associations sur le terrain. En fait, on s'aperçoit

(*) Déposé à la rédaction le 4 mars 1955.

(1) Les facteurs de pédogénèse dans la forêt de Saint-Michel. *Bull. Inst. Agr. Gx.*, T. XXIII, n° 1, 1955, p. 66-89.

que les limites très subjectives se déplacent suivant qu'on les franchit dans un sens ou dans l'autre. D'autre part, très souvent, l'association n'est pas typique et peut être rangée sous l'une ou l'autre dénomination.

L'Ardenne atlantique comprend trois étages :

Hêtraie : > 450 mètres

Chênaie à charmes supérieure entre 450 et 350-400 mètres

Chênaie à charmes inférieure en dessous.

La région étudiée s'étend de 320 à 525 mètres ; elle comprend donc les trois étages. La partie en dessous de 450 mètres est assez considérable et pourtant les manifestations de chênaie à charme sont réduites et surtout confinées dans les fonds de vallées. Le Fagetum donne l'impression par son effet de masse, d'écraser le Quercetum et de descendre jusqu'au moment où les conditions deviennent suffisamment favorables pour celui-ci, lui permettant de lutter efficacement contre l'envahissement du hêtre. Cependant, quelques plages à charmes subsistent encore dans les zones qui ne sont pas cartographiées Q.C. (1) et le chêne y est présent.

On pourrait donner à ces parties la dénomination de « chênaies à charmes submergées par le hêtre ». Elles conduisent d'ailleurs souvent à la Deschampsie et surtout au Vaccinium. Le chêne et le charme venant à disparaître totalement, il reste une hêtraie sèche et pauvre de basse altitude. On pourrait ainsi expliquer l'apparition de la hêtraie à Deschampsies du ravin de la fange Dumont.

Certaines parties du Q.C. inférieur sont remplacées par des prairies à gibier (2).

Les différents Fagetum dont les grandes classes étudiées en 1949 par Monsieur Noirfalise restent la base des types de hêtraies en Ardenne, ont été subdivisés en sous-types. Le besoin s'en est fait rapidement sentir : à Saint-Michel, il est très difficile de trouver un Fagetum à *Luzules* typique (3). Il est le plus souvent accompagné d'*Oxalis* et de quelques touffes de *Festuques* (4). Sinon, c'est un Fagetum humide ou tassé ou dégradé superficiellement (5). *Il semble que là où on trouverait un Fagetum à Luzules typique dans la majorité des cas en Ardenne, on trouve à Saint-Michel un Fagetum à Oxalis et à Festuques, marquant un substrat moins acide.* Rapprochons ce fait de ce qu'on a pu établir dans la vallée de la Masblette l'existence d'un chenal Hundsrückien (6). Ce chenal s'étendait sur les flancs, en pellicule que l'érosion a découpée et continue à éliminer. Elle s'est maintenue intacte dans les fonds. Mais

(1) Ces plages sont marquées par un hachuré oblique sur la carte.

(2) Rappelons que Saint-Michel est une chasse royale et que le gibier y est exagérément représenté. Son abondance est incompatible avec la régénération normale de la futaie.

(3) Relevé n° 2.

(4) Relevés n°s 5 et 12.

(5) Relevés n°s 4, 14 et 15.

(6) Cf. trav. fin d'études, 1953.

SERIES MERIDIONALES DE ST MICHEL



LEGENDE TECHNIQUE

• 17 Point de prise d'un micromonothite

LEGENDE GENERALE

Fanges

Ech 1/5000

V. Tonnard

ESQUISSE PEDOLOGIQUE

RELEVÉS PHYTOSOCIOLOGIQUES

Variantes	F1	F2	Fp	Fp	L	Lh	R	Ox	Ox	D	D'	D'	D'	Gr	Qc
N° du relevé	18	1	7	17	2	4	14	15	12	5	10	8	6	3	9
Pentes en %	5	60	17	80	12	3	1	—	10	3	5	—	27	25	27
Exposition	SW	N	S	S	NW	NE	W	—	NW	S	SE	(N)	S	SE	S
Altitudes en ms.	390	379	495	400	435	525	390	470	400	515	100	525	480	450	400
Strate arborescente:															
hauteur en ms.	28	27	23	25	24	22	22	25	25	25	21	22	22	21	20
recouvrement en %	80	85	85	60	80	75	50	70	70	60	65	65	70	80	50
Strate arbustive															
hauteur en ms.	15	4	10	10	5	5	15	10		12	13	7	10	9	15
recouvrement en %	15	20	15	10	10	<10	<10	<10		10	40	20	20	10	5
Couverture herbacée	40	60	10	10	75	40	90	50	60	70	95	95	30	80	10
Surface parcourue (m²)	150	200	150	200	200	150	250	150	100	200	250	150	100	150	200
Nombre de plantes	14	35	18	22	26	25	13	20	18	23	17	13	12	21	19
pH superficiel	4,5	4,25	4,0	5,0	5,0	4,5	<4,0	<4,0	5,0	4,5	4,5	4,5	4,0	<4,0	5,0
Strate arborescente															
Fagus silvatica	5,4	3,1	4,1	3,1	3,1	3,1	2,1	3,1	4,1	4,1	3,1	3,1	3,1	4,1	1,1
Quercus pedunculata							1,1		2,1	+1		+°	+°	2,1	2,2
Acer pseudoplatanus	+	1,1							1,1	+1		1,1	2,1	2,1	2,1
Quercus sessilis															
Picea exelsa (planté)															
Fraxinus excelsior															
Strate arbustive															
Fagus silvatica	1,2	1,1	3,3	2,1	2,3	2,2	+1	1,1		2,1	2,2	+1	2,2	1,1	1,1
Acer pseudoplatanus				3,2											
Picea exelsa (planté)						1,1									
Quercus sessilis	+1														
Salix aurita	+				+										
Corylus avellana															
Sambucus nigra	+														
Fraxinus excelsior															
Sorbus aucuparia															
Strate herbacée															
Fagion															
Daphné mezereum															
Asperula odorata															
Melica uniflora															
Festuca silvatica	2,2	3,4	3,2	3,2	+	+1	+1		+1	+					
Calamagrostis arundinacea	1,1	1,2	1,2	3,3					2,2	3,3	+1	+°		+°	+1
Ellimus europeus	+														
Fagetalia															
Lamium galeobdolon	1,1	+1													
Scrophularia nodosa		+1													
Milium effusum (frais)															
Carex silvatica	1,2														
Epilobium montanum	1,1	1,1	1,1			+									
Poa nemoralis															
Euphorbia amygdaloides	1,1	1,3													
Catharinaea undulata															
Montagnardes															
Luzula nemorosa	+1	2,2	1,2	+	3,3	3,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,2	+°	+°
Polygonatum verticillatum	+														
Sols tassés et humides															
Carex remota	+1	1,2	1,2		1,2	+2	3,3	1,1	1,3	1,2	1,2	2,2		2,2	+
Juncus effusus		+	1,1		2,3	+2	1,1	2,2	1,1	+°	1,2	2,2		+1	
Sols tassés peu humides															
Deschampsia caespitosa		+	2,2		2,1	1,1			2,2	2,2	1,1	1,2	2,2		
Différencielles de dégradation															
Dicranum scoparium		+			+	+									
Dicranella heteromala		+													
Deschampsia flexuosa	+	+			+1	1,2	+1								
Vaccinium myrtillus						1,2									
Molinia caerulea						+		+1							
Pteris aquilina															
Leucobryum glaucum															
Compagnes et Variantes normales															
Rumex acetosa	1,1	1,2	2,2		1,2				3,2	3,2	1,1	1,1		+2	+
Oxalis acetosella	2,1	3,2			1,1	1,2								2,2	2,1
Athyrium filix femina															
Dryopteris filix mas.	+														
Rubus sp.		+2	+1	1,1	1,2	+1									
Polytrichum formosum	1,3	2,2	2,2		2,2	1,3									
Dryopteris spinulosa		2,3	+1	+	1,1	1,1	1,1								
Galeopsis tetrahit	+														
Agrostis vulgaris	1,2	+2	+1		1,2	1,2	1,1	1,1	2,3	2,2					
Carex pilulifera	+1		1,1		2,2	1,2	+		1,1						
Digitalis purpurea															
Epilobium spicatum	+1														
Brachypodium silvaticum	+1														
Urtica dioica	+1														
Potentilla procumbens															
Blechnum spicant															
Prunus sp.															
Galium saxatile															
Sphagnum Girgensohnii															
Lysimachia nemorum															
Veronica officinalis															
Hypnum cupressiforme															
Luzula maxima															
Carex vulpina															
Prunus padus															
Salix caprea															
Evonymus europae															
Carex palescens															
Viola silvatica	+														
Plantules forestières															
Fagus silvatica	2,1	1,1													
Quercus pedunculata			1,1												
Quercus sessilis															
Acer pseudoplatanus	3,2	2,2													
Acer platanoides															
Picea exelsa (planté)															
Fraxinus excelsior	+														
Champignons															
Marasmius peronatus															
Cortinarius obhiovellaceus															
Non déterminés															

F1 : Fagetum festucetorum à Lamium et Athyrium, de pentes.

F2 : Fagetum festucetorum de plateaux.

L : Fagetum lusuletosum typique.

Lh : Fagetum lusuletosum, variante humide.

R : Fagetum lusuletosum humide à Carex remota et Juncus effusus.

D : Fagetum à Deschampsie paracimacique.

D' : Fagetum à Deschampsie de dégradation.

GrF : Cariceto remote-Fraxinetum.

QC-Ac : Querceto-Carpinetum Aceretosum.

Ox : Fagetum lusuletosum à Oxalis.

il est probable qu'à une époque pas très lointaine, elle recouvrait tout l'anticlinal taunusien. C'est à partir d'elle qu'une partie des sols a pu se former. L'analyse morphoscopique montre d'ailleurs que la pédogénèse dérive d'au moins deux assises géologiques distinctes (1). Or l'une de ces assises est formée de grauweekes fossilifères. Le calcaire a depuis longtemps disparu puisque les analyses du sol au contact de cette bande n'en révèle que des traces. Cependant elle a donné une orientation un peu différente à l'évolution des profils. Cette assise intercalée entre le sol en formation et le Taunusien quartzitique, même très fine, a surtout fait que le sol procéda longtemps de roches moins acides (grès et grauweekes Sg₂) que celles du Sg₁. D'autre part les débris de grauweekes encore visibles dans les profils contribuent à rendre le milieu un peu différent des autres sols ardennais. *Ce n'est que dans les parties supérieures et fortement érodées qu'apparaît le Fagetum à Luzules typique.* On pourrait donner ainsi une explication purement géologique à une observation phytosociologique.

Remarquons encore que le faciès Sg₁ rencontré à Saint-Michel est surtout formé de phyllades quartzeux et de quartzites dont les coupes minces trahissent une forte teneur en impuretés, d'où, l'apparition d'un sol plus argileux et peut-être plus riche que dans les autres parties de l'Ardenne. Un réseau d'analyses comparatives permettrait une mise au point de la question.

Le Fagetum à Festuques a été subdivisé en Fagetum de pente et de plateau. Le Fagetum à Festuques de pente (*Lamium* et *Athyrium*) riche, sur sol assez squelettique est à qualités simplement bonnes, mais bien aéré (2). Il semble qu'avec un peu de limon ou d'argile supplémentaire, on passerait rapidement à la hêtraie à *Aspérules*. Le Fagetum à Festuques de plateau, moins riche, d'accroissement moindre dans le peuplement économique, préfère cependant encore les sols caillouteux (3). La couche humifère est un peu moins épaisse et plus noire que dans le Fagetum à Festuques de pente, sans cependant évoluer vers le mor comme c'est rapidement le cas dans la hêtraie à *Luzules* pour peu que le sol plus ou moins humide se tasse ou se dégrade. Remarquons ici que l'*Oxalis* et la Festuque, mais surtout l'*Oxalis* dans le Fagetum à *Luzules*, ont tendance à se jucher sur des souches d'arbre en décomposition ou même sur des genoux de racines qui pourrissent. On peut se demander si ce fait n'est pas de nature à fausser quelque peu la répartition des sous-associations.

Le Fagetum à *Deschampsies* est subdivisé en deux formes. L'une d'*altération* dont l'origine est bien visible et provient du maintien de chênes trop clairs sur des pentes plus ou moins sèches et exposées au Sud-Est (4). Cette hêtraie est la plus fréquente en dessous de 450 mètres

(1) Cf. article précité.

(2) Relevés n^{os} 1 et 18.

(3) Relevés n^{os} 7 et 17.

(4) Relevés n^{os} 3, 6 et 9.

(dégradation du Q.C.). La surimposition d'un micropodzol parfois bien développé se remarque le plus souvent. L'autre a été baptisée *hêtraie à Deschampsies paraclimacique* (1). Si la Deschampsie, indicatrice des sols acides y est bien représentée, par contre on y trouve moins d'autres acido-résistantes. Les hêtres y croissent de façon satisfaisante. On retrouve même des touffes de Festuques et le sol, riche en squelette ne montre aucune surimposition de micropodzol. Il faut cependant signaler que ces hêtraies paraclimaciques semblent prédisposées à passer à hêtraies nettement dégradées. Il se pourrait que dans le processus de dégradation du sol, alors que l'altération n'est pas encore morphologiquement sensible, il y ait une phase marquée par la végétation plus sensible que nos moyens d'analyse, où la Festuque régresse et où apparaît la Deschampsie.

Remarquons enfin que Calamagrostis arundinacea renseignés comme commune en d'autres endroits d'Ardenne est peu fréquente et se cantonne aux expositions Sud à Sud-Ouest.

En consultant la légende, on pourra encore reconnaître d'autres types moins importants comme la tourbière (sur les quartzites sub-horizontaux du Taunusien), la hêtraie à Festuques humide, à Carex remota et Juncus effusus.

Relations avec la pédologie

Le Querceto-Carpinetum est cantonné dans les alluvions et les colluvions à l'Ouest de la planche. Dès qu'en se relevant sur une pente raide, le sol devient plus squelettique, il y a envahissement par le hêtre ; le phénomène est surtout visible au Nord du pont Colle à l'exposition Sud-Ouest. Très souvent, on passe par une bande de dégradation à Deschampsies et Vaccinium pouvant provenir de l'altération du Q.C. envahi par le hêtre, le chêne et le charme étant surtout abondants à cette altitude de l'ordre de 450 mètres. Le passage du Querceto-Carpinetum maintenu sur alluvions ou colluvions au Querceto-Carpinetum envahi est toujours assez net.

Les sols déjà caillouteux L_1Sc_3 , P_1Qc_3 (2) pour peu que le matériel grossier devienne plus important A_1R (2) ou que la pente s'accroisse, se dégradent facilement aux expositions Sud. C'est la Myrtille, plus que la Deschampsie qui les trahit. Parfois, sur des pentes pas trop accentuées avec tassement superficiel, on voit apparaître Deschampsia caespitosa. C'est le déficit d'eau, dans ces sols qui devient le facteur défavorable.

A la mosaïque des sols du dôme des 525 mètres (pavillon), correspond une panachure encore plus marquée des types et sous-types phytosociologiques. Le dôme est surtout recouvert d'un sol L_1Qb_2 (2), mais l'association que l'on voit lui correspondre le plus fréquemment,

(1) Relevés n°s 8 et 10.

(2) Voir définition des sols en fin de chapitre.

le Fagetum à Luzules peut être, sur ce même sol subdivisé en Fagetum à Luzules type et à Oxalis. Plus bas, sur un même substrat L_1Sb_3 (1) se retrouvent deux formes: Fagetum à Luzules type et Fagetum à Luzules humide. A l'Ouest, sur sol L_1Sc_3 (1) se rencontrent deux sous-associations: Fagetum à Festuques de pentes et Fagetum à Luzules et Oxalis. Ces exemples tendent à montrer que sur un même type de sol cartographié, on peut découvrir plusieurs sous-associations. C'est que, soit la technique de prospection, soit les normes de description du profil, soit la légende ne sont pas encore assez affinées pour saisir les modifications auxquelles les indicatrices sont sensibles. Signalons à ce sujet que le meilleur indicateur est tout compte fait, la futaie de hêtres si on envisage sa *hauteur totale* (Dominants et Co-dominants). Elle oscille entre 33 et 38 mètres pour le Fagetum à Festuques de pentes et 22 à 27 mètres pour le Fagetum dégradé à Deschampsies. Elle est déjà déprimée dans le Fagetum à Luzules alors que les accroissements transversaux pris à la Pressler ne donnent guère de différences. Cette distinction par le peuplement lui-même est, sur Saint-Michel encore relativement facile. C'est que la croissance y est assez bonne (accroissement annuel courant de 5 à 6 m³ à 70-80 ans) pour une troisième classe. Mais cette situation est plutôt exceptionnelle. Autre part, deux ou trois mètres cubes d'accroissement maximum ne permettront plus de distinguer par la futaie les différents types de Fagetum. Une bonne hêtraie à Festuques de 4 m³ se distinguera difficilement d'une mauvaise et vieille hêtraie de 1 m³ d'accroissement si on envisage la hauteur de peuplement: la marge est trop faible. Et ceci est le cas général pour l'Ardenne. Il faut s'adresser aux forêts de Saint-Michel, Saint-Hubert particulier, Freyr particulier et Freyr domanial (en partie) pour pouvoir encore faire une distinction sans relevé floristique.

Si on feuillette les aménagements, on peut voir que les meilleurs cantons sont: le Thiers-des-Grippes, le Marchet du Thiers-des-Grippes et « une bonne partie » du versant du Ponceau. Ils correspondent assez bien à l'extension des Festuques et des Luzules avec Oxalis. Sont considérés comme moyens à médiocres, le Pieds-de-Bœuf, le Cheval-de-Bois qui correspondent à de la Luzule type ou à des faciès de dégradation en Deschampsies ou de tassement sec ou humide. Remarquons encore qu'en pratique, les gardes disent: « la régénération est encore possible lorsque le sol est recouvert par parties égales de feuilles mortes, de petites mousses et d'herbages si ce n'est pas de la Deschampsie ».

En rapprochant les types de sols des types phytosociologiques qu'ils portent le plus fréquemment, on peut dire d'une manière très générale que les sols à Festuques sont les types L_1Sc_3 (1), P_1Rd_3 (1) pour autant qu'il n'y ait pas de dégradation, L_2Sb_1 (1), ni d'accumulation d'argile trop considérable, L_1Sa_1 (1), ni de matériaux grossiers abondants sur une forte pente d'exposition Sud, A_2S (1).

(1) Voir définition des sols en fin de chapitre.

Ces sols se caractérisent tous par une aération suffisante qui en est l'élément distinctif. L'horizon organo-minéral reste cependant assez épais mais grumeleux et bien fouillé par les racines et les Géotrupes plus que par les Vers. Le gley est presque toujours absent ou très profond. En ce dernier cas, on a peut-être une hêtraie à Festuques de plateau, mais la relation n'est pas évidente.

Les profils dérivés de L_1Qb_2 (1) plus compacts portent sauf dégradation des hêtraies à Luzules types. Celles-ci ne sont cependant pas cantonnées exclusivement dans ces sols. Leur extension est trop faible sur Saint-Michel que pour pouvoir porter un jugement.

La Luzule à Oxalis colonise les sols L_1Qb_2 (1) autant que les sols L_1Sc_3 et P_1Rd_3 (1), de sorte qu'on pourrait peut-être faire passer la variante hêtraie à Luzules avec Oxalis dans la hêtraie à Festuques.

Les sols à Luzules humides sont les plus argileux, L_1Sa_1 (1), ou nettement gléifiés, H_2 ou H_1 (1). Le tassement amène l'apparition de *Carex remota* et *Juncus effusus*.

Les sols de dégradation portent suivant leur degré de siccité *Deschampsia* ou *Vaccinium*. *Leucobryum glaucum* apparaît dans les endroits suffisamment protégés.

Notons encore qu'à la faveur des plantations d'épicéas, certains sols humides portent à nouveau *Molinia caerulea* et *Sphagnum Girgensohnii* (remontée du plan d'eau et gley superficiel).

DEFINITION DES SOLS

L_1Sc_3 : Sol brun lessivé sur schistes ou phyllades. Rouille à plus de 80 cms. Limon caillouteux sur couche caillouteuse. Débris inférieurs à 10 cms.

P_1Qc_3 : Sol brun podsoloïque sur pente. Pas de B des sol brun lessivé même fossile. Matériaux filtrants. Sec et superficiel. Brown climacique ? Q : sur quartzites. c_3 : cf. supra.

A_1R : Sol sur éboulis de pentes.

L_1Qb_2 : Sol brun lessivé. Q : Quartzites. Peu caillouteux sur couche plus caillouteuse à plus de 60 cms de profondeur. Rouille de 50 à 60 cms.

L_1Sb_3 : Sol brun lessivé sur schistes ou phyllades. Rouille de 50 à 60 cms de profondeur. Limon caillouteux sur couche caillouteuse.

P_1Rd_3 : Sol brun jeune mais instable pouvant rapidement se dégrader. Grey Brown avec parfois une structure de Brown. Cette subdivision dérive plus d'un aspect biologique général que d'une analyse individuelle du profil. d : rouille inexistante.

L_2Sb_1 : Sol brun lessivé, dégradé sous topographie calme. b_1 : rouille de 50 à 60 cms. Limon peu caillouteux sur couche plus argileuse.

(1) Voir définition des sols en fin de chapitre.

L₁Sa₁ : Sol brun lessivé. Rouille de 0 à 50 cms. Argileux.

A₂S : Sols sur affleurements de phyllades ou de schistes.

P₁Rd₃ : Sol brun podsolique de pente. Pas de B. Sur éboulis variés. Pas de rouille dans le profil. Limon caillouteux.

H₂ & H₁ : Low Humic Gley. Gley fonctionnel autour des fanges ou des pierriers. (zones d'accumulation). 1 : gley entre 0 et 30 cms. 2 : gley entre 30 et 50 cms.

Relations avec la morphologie

A part la mosaïque de la côte des 525 mètres (pavillon), les associations, sur le dôme, se succèdent normalement au fur et à mesure que l'on passe d'une pénéplaine à l'autre, dont les flancs sont de plus en plus inclinés. (Tourbière → Luzule type → Luzule à Oxalis → Festuque de plateau → Festuques de pente). A la faveur d'une grande relique de pénéplaine (replat des 505 mètres), réapparaît la Luzule et même la Luzule humide. Cette succession est régulière compte tenu de faibles variantes locales parce que la pente s'accroît régulièrement vers une même exposition Sud-Ouest.

Par contre, dans la région de démembrement des surfaces de pénéplanation et des terrasses, la succession irrégulière de replats et de pentes, l'exposition variable, entraînent une grande diversité de conditions d'où une mosaïque complexe de plages différentes, mais de faible amplitude, allant de la hêtraie à Carex et Juncus à la hêtraie à Festuques de pente.

A la faveur des replats, on voit se développer sur des aires assez restreintes, la Luzule type au milieu d'une extension de Festuques ou de Luzules à Oxalis. Ce phénomène est particulièrement sensible sur le Hêtre-au-Corbeau où il est maintenant exagéré par des coupes abusives. On a pu, en étudiant la structure des pierriers, établir l'origine des sols plus compacts qui les entourent et dont le caractère suffisamment marqué justifie parfois une dénomination différente (1). Plus souvent encore, on peut y relever une variante humide ou très fraîche de l'association environnante. L'explication est évidemment la même, mais l'exemple montre en outre que la végétation distingue les sols plus finement que nos analyses.

Par l'enfoncement rapide de la Masblette dans ses alluvions et dans le Sg₂ (rivière cataclinale), on peut expliquer l'allure torrentueuse du ry Romarin, dans une vallée en V. Cette gorge, avec des versants Sud embragés, sur des colluvions et sur des grauwaques moins acides a réalisé un refuge géographique où se rencontrent quelques espèces à tendance méditerranéenne (*Daphne mezereum*, *Lactuca muralis*). Ce caractère s'épanouit au fur et à mesure qu'on remonte le ruisseau pour se terminer

(1) Cf. article précité.

par un minuscule noyau de hêtraie à Aspérules. Ensuite, la forêt est coupée par une prairie à gibier très allongée le long du ry. Plus haut, on ne retrouve plus les caractéristiques de cette association. La situation est d'ailleurs beaucoup plus à découvert.

Dans la vallée de la Masblette, d'une manière très spasmodique, apparaît un Cariceto-Fraxinetum. L'orientation Ouest et la protection des flancs abrupts du Thiers-des-Grippes et des Abanages expliquent cette furtive apparition dans un milieu très frais (1).

A l'Ouest de la planche étudiée, s'étend un taillis sous futaie en assez mauvais état, très hétérogène, d'aspect nettement Querceto-Carpinetum. Certains endroits sont enrésinés en mélèzes d'ailleurs trop serrés.

Plus bas, se trouve un taillis puis les prairies du Fourneau Saint-Michel. Ce complexe occupe une surface de colluvions assez considérable dont nous avons essayé de comprendre la formation par le déplacement de la confluence de deux ruisseaux, la Masblette et les Rabanys.

On peut encore faire une observation qui n'apparaît guère dans les relevés indiqués en annexe, mais qui semble cependant générale sur le terrain : la dégradation sur les sols schisteux se marque surtout par des Fougères, sur sols de grès-quartzites, par des Myrtilles et des Bruyères dans les parties inférieures.

L'examen de la carte montre encore que, apparemment, le Fagetum descend beaucoup plus bas que sa limite inférieure théorique, 450 mètres. On le retrouve encore 100 mètres plus bas puisqu'il dépasse la courbe de niveau des 350 mètres. Admettons qu'il puisse descendre de 100 mètres sur les versants Nord où le déficit de radiation est surtout sensible en pleine végétation. Mais comment expliquer une descente presque aussi forte sur les flancs Sud où au contraire, le Quercetum devrait remonter au delà de 450 mètres ? Il semble que, par un effet de masse, le Fagetum réussisse à étouffer le Quercetum. J'appellerais volontiers ce phénomène « la descente du Hêtre ». Les régions ainsi envahies prennent l'aspect d'un Fagetum. Il y a cependant des nuances qui persistent. Le Charme et le Chêne — mais celui-ci surtout — témoignent de l'ancien Querceto-Carpinetum. Sur les flancs, les chênes s'accrochent encore. Tandis que dans les parties inférieures, ils sont noyés dans un Fagetum à Luzules ou à Festuques, dans les parties supérieures, il y a accompagnement d'une dégradation en Deschampsies et Vaccinium : le chêne n'est plus à sa place ; il y a été maintenu par des coupes trop claires. Mais nous ne sommes plus là, nécessairement dans un Querceto-Carpinetum.

On pourrait considérer que le Chêne, bien représenté dans le Hêtre dominant, sans dégradation, est l'indicateur d'un Querceto-Carpinetum envahi. Le chêne, dans une hêtraie dégradée serait souvent considéré

(1) Relevé n° 16.

comme un intrus et même parfois comme la cause indirecte de la dégradation par les coupes claires qu'il a exigées pour son maintien, à moins que, comme pour une partie du Fagetum à Deschampsies du ravin de la Fange Dumont, on puisse trouver une autre cause de dégradation (abus locaux de la deuxième moitié du XVIII^{me} siècle).

Le Charme, lui, se maintient plus près des parties fraîches et protégées (pont Mauricy) ou près des têtes de sources (affluents de la Palogne) mais à des altitudes plus faibles où on admet facilement l'existence d'un Querceto-Carpinetum.

Le Cariceto-remote Fraxinetum et le Querceto-Carpinetum aceretosum semblent mieux résister à l'envahissement par le hêtre. Sans doute doivent-ils cette résistance à l'écologie particulière qui les induit et à laquelle le hêtre ne s'adapte que difficilement.

Notons enfin, en regardant la carte, que les surfaces cartographiées Q-C. auxquelles s'ajouteraient les surfaces reconnues Q-C. envahi par le hêtre représentent à peu près l'extension prévue par la limite des 450 mètres, compte tenu de la descente écologique du Fagetum le long des pentes Nord.

Dans une étude précédente, on a parlé de l'*influence historique* sur la répartition des peuplements. Nous n'y reviendrons pas.

Nous venons de voir que la géologie peut apporter quelques éclaircissements : végétation différentes sur des sols différents comme la grauwacke et les quartzites. Mais — et on en revient aux premières lignes de cet article — il faut distinguer nettement la géologie des terrains récents et celle des terrains anciens. Les terrains anciens influent plus la répartition phytosociologique par la morphologie qu'ils imposent que par les éléments d'altération chimique ou physique, sauf évidemment dans le cas de sols squelettiques. *C'est dire qu'on ne pourra que très rarement établir une relation directe géologie-phytosociologie ; il faudra le plus souvent passer par les interprétations de la géomorphologie.*

BIBLIOGRAPHIE

H. BAULIG : Essais de Géomorphologie.

P. F. L. Strasbourg. Les Belles Lettres. Paris.

M. BOUDRU : Cours d'écologie forestière et questions spéciales de sylviculture. Notes.

FERRARIS : Commentaires de la Carte de Cabinet.

Notes manuscrites extraites des « Eclaircissements sur la carte de Cabinet des Pays-Bas autrichiens ». 1777.

A. GALOUX : Principaux groupements forestiers et leurs types de sols, B.S.C.F.B. 1949, pp. 265 à 286.

L. GERLACHE : Cours de géologie et de géographie physique. Notes.

-
- F. GULLENTOPS : Découverte en Ardenne de minéraux volcaniques de l'Eifel. B.C.L.S. T : 38, 1952.
- G. MANIL : Cours de pédologie forestière, coloniale et générale. Notes.
- A. NOIRFALISE : Premier aperçu sur l'étage du hêtre et les types de hêtraies en Belgique.
B. Inst. agr. Gx. Comm. n° 10, 1949.
Cours d'écologie et de phytosociologie. Notes.
- A. NOIRFALISE et A. GALOUX : Les étages de végétation dans l'Ardenne belge. Centre de recherches phytosociologiques et écologiques de Gembloux. 1950. Comm. n° 11.
- R. TAVERNIER : Les formations quaternaires de la Belgique en relation avec l'évolution morphologique du pays. Ann. Soc. Géol. Bel. pp. 609 à 641, 1948.
- P. MACAR : Contribution à l'étude géomorphologique de l'Ardenne. Ann. Soc. Géol. Bel. T : 61, 1937.
Principes de géomorphologie normale. Vaillant-Carmanne, 1946.
-

Observations météorologiques de l'année 1954 (*)

par

G. DEMORTIER

Les relevés de 1954 sont présentés sous forme de tableaux afin de fournir le maximum de renseignements sur le minimum de pages. Dans le but de diminuer le volume de cet article, il n'est fait aucun commentaire et les graphiques ne sont plus établis.

Nous signalons que l'ordre de succession des facteurs météorologiques dans les tableaux des pages suivantes n'est pas logique : ils ont été dressés dans cet ordre pour permettre à l'éditeur d'imprimer les différents tableaux sur deux pages en regard et d'éviter des espaces laissés en blanc.

Les observations météorologiques sont les suivantes :

- 1^{er} tableau : a) la radiation solaire — b) l'eau ;
- 2^{me} tableau : la température : a) sous-abri — b) sur le sol ;
- 3^{me} tableau : la température dans le sol ;
- 4^{me} tableau : les valeurs extrêmes ou caractéristiques.

Pour chacun des facteurs examinés sont donnés les totaux :

- par décades ;
- par mois ;
- par saisons et pour l'année.

Les séries d'observations journalières ont été exécutées aux heures suivantes :

- I : 7 heures (G.M.T.)
- II : 13 heures (G.M.T.)
- III : 18 heures (G.M.T.)

par MM. BAUVIN R. et GLIBERT L., préparateurs-techniciens.

(*) Déposé à la rédaction le 17 mars 1955.

RADIATION SOLAIRE										L'EAU						
1953-1954	Mois et Saisons	Calories gr cm ² /mi	Heures d'insolation				Précipitations				Evapo- ration Pl.(H.E. (cm ³)	Humidité relative				
			Gébloux		Lecle		Haut, observ. (mm)	Moy. norm. (mm)	Nombre de jours	de neige jours		I	II	III		
			Heures possi- bles	Observ.	%	Moy. norm.									%	
1953 Décembre	1-10	388.9	81	15.5	19.1	14	17.3	1.4	—	1	0	20.1	90.6	82.3	83.1	85.3
	11-20	397.4	79	20.5	25.9	13	16.4	8.8	—	2	0	15.1	88.6	82.1	87.4	86.0
	21-31	275.9	87	8.3	9.5	15	17.2	28.1	—	8	0	5.5	94.8	93.1	94.0	93.9
	Mois	1062.2	247	44.3	18.2	42	17.0	38.3	80.0	11	0	40.7	91.4	86.0	88.3	88.6
1954 Janvier	1-10	569.5	81	6.3	7.8	16	19.7	12.9	—	5	5	gelé	93.3	87.6	91.6	90.8
	11-20	437.5	84	14.6	17.4	17	20.2	37.1	—	7	0	gelé	91.5	81.5	85.5	86.2
	21-31	1328.5	98	55.4	56.5	20	20.4	4.1	—	1	0	gelé	85.6	64.5	70.2	73.4
	Mois	2335.5	263	76.3	29.0	53	20.2	54.1	64.0	13	5	gelé	90.0	77.4	82.0	83.2
Février	1-10	1065.2	94	41.5	44.1	27	27.7	14.1	—	3	2	gelé	93.2	69.3	81.4	81.3
	11-20	603.2	100	1.4	1.1	29	29.0	8.1	—	7	2	gelé	92.3	87.6	94.9	91.7
	21-28	627.2	85	11.2	13.2	25	29.4	33.8	—	7	2	gelé	89.4	85.1	88.2	87.6
	Mois	2295.6	279	54.1	19.3	81	29.0	56.0	51.0	17	6	gelé	91.8	80.3	88.2	86.8
Hiver		5693.2	789	174.7	22.2	176	22.3	148.4	195.0	41	11	incom.	91.1	81.2	86.2	86.2
Mars	1-10	1281.9	112	23.1	20.6	37	32.7	54.2	—	9	3	gelé	85.2	76.8	84.2	82.1
	11-20	1448.2	118	33.5	28.6	39	32.9	14.6	—	1	0	15.3	94.1	73.3	86.5	84.5
	21-31	1333.4	137	36.7	26.8	45	33.2	1.0	—	7	0	25.8	85.4	69.8	79.4	78.2
	Mois	4063.5	366	93.5	25.3	121	33.0	69.8	55.0	17	3	incom.	88.2	73.2	83.2	81.6
Avril	1-10	2351.5	131	49.5	37.8	51	38.9	21.6	—	5	0	18.2	91.0	69.4	80.1	80.1
	11-20	3145.8	137	58.7	42.8	53	39.0	8.3	—	5	1	gelé	85.2	60.3	75.1	73.6
	21-30	4432.0	144	93.0	61.6	56	39.2	0.0	—	0	0	23.0	89.4	54.8	60.2	68.1
	Mois	9929.3	412	201.2	48.4	161	39.0	29.9	61.0	10	1	incom.	88.5	61.5	71.8	73.9
Mai	1-10	3625.2	149	79.2	53.1	67	45.0	7.6	—	4	0	40.9	76.9	50.0	59.3	62.1
	11-20	3274.9	154	55.3	35.9	69	44.8	1.0	—	1	0	44.6	78.0	52.6	65.4	65.3
	21-31	3976.6	175	62.7	35.8	81	46.2	29.7	—	8	0	44.5	77.6	59.3	72.3	70.0
	Mois	10876.6	478	197.2	41.6	217	45.3	38.3	63.0	13	0	130.0	77.5	54.1	65.8	65.8
Printemps		24869.5	1256	191.9	38.4	199	39.7	138.0	179.0	40	4	incom.	84.7	62.9	73.6	73.8
Semestre		32562.8	2045	666.6	30.3	675	31.9	286.4	374.0	81	15	incom.	87.9	72.0	79.9	80.0

Juin	1-10	2849.9	162	66.2	34.7	66	40.7	28.2	—	7	0	27.6	83.9	68.3	70.3	74.2
	11-20	4795.3	164	67.2	41.0	66	40.2	15.7	—	4	0	37.0	83.9	64.9	69.5	72.8
	21-30	3332.4	165	52.2	31.6	68	41.2	14.2	—	4	0	29.7	90.2	64.7	76.4	77.1
	Mois	11577.6	491	175.6	35.8	200	40.7	58.1	67.0	15	0	94.3	86.0	66.0	72.1	74.7
Juillet	1-10	2417.8	162	75.9	46.8	67	41.8	11.7	—	6	0	33.9	86.2	65.3	72.5	74.7
	11-20	2028.8	160	45.0	28.1	67	41.5	37.6	—	6	0	23.6	88.1	73.7	80.7	80.8
	21-31	2143.4	171	49.9	29.2	71	41.5	30.1	—	6	0	35.4	89.4	68.7	74.8	77.6
	Mois	6590.0	493	170.8	34.7	205	41.4	79.4	81.0	18	0	92.9	87.9	68.2	76.0	77.7
Août	1-10	2643.5	151	58.8	38.9	68	45.0	43.5	—	6	0	38.2	86.8	69.8	80.2	78.9
	11-20	1706.1	145	40.5	27.9	65	44.8	44.5	—	8	0	21.2	92.9	78.6	78.4	83.3
	21-31	2216.6	153	53.2	34.1	68	44.4	42.5	—	7	0	25.7	93.4	66.7	79.3	79.8
	Mois	6566.2	449	152.5	33.6	201	44.7	130.5	77.0	21	0	85.1	91.1	71.5	79.3	80.6
Été		24733.8	1433	498.9	34.7	606	42.2	268.0	225.0	54	0	272.3	88.3	68.6	75.8	77.7
Sept.	1-10	2008.4	131	52.4	40.0	56	42.7	14.4	—	5	0	32.4	90.1	66.7	84.7	80.5
	11-20	1270.5	126	39.8	31.6	54	42.8	13.3	—	8	0	26.6	91.0	72.5	82.3	81.9
	21-30	1027.7	121	34.8	28.8	52	42.9	36.9	—	10	0	26.3	88.0	75.2	82.9	82.0
	Mois	4376.6	378	127.0	33.5	162	42.8	64.6	66.0	23	0	85.3	89.7	71.5	83.3	81.5
Octobre	1-10	825.4	114	27.1	23.8	38	33.6	17.1	—	7	0	18.2	90.3	81.3	89.3	87.6
	11-20	985.1	107	38.0	35.5	36	33.6	11.3	—	3	0	25.6	91.2	70.4	89.5	83.7
	21-31	600.1	111	27.2	24.5	39	33.7	33.6	—	7	0	23.2	92.8	77.7	91.4	87.3
	Mois	2410.6	332	92.3	27.9	113	33.6	62.0	78.0	17	0	67.0	91.5	76.5	90.8	86.3
Nov.	1-10	684.9	95	41.0	43.1	21	23.1	14.0	—	5	0	15.1	91.7	71.2	87.4	83.4
	11-20	423.3	89	28.0	31.4	20	23.6	11.0	—	8	0	11.3	96.5	81.5	92.5	90.2
	21-30	388.1	85	24.0	28.2	19	23.5	14.8	—	9	0	24.4	85.9	75.3	82.3	81.1
	Mois	1496.3	269	93.0	34.2	62	23.4	39.8	73.0	22	0	50.8	91.4	76.0	87.4	84.9
Automne		8213.5	979	312.3	31.9	337	34.5	166.4	217.0	62	0	203.1	90.9	74.7	87.2	84.2
Semestre		32947.3	2412	811.2	33.3	943	38.3	434.4	442.0	116	0	475.4	89.6	71.6	81.5	80.9
Année		63510.1	4457	1477.8	31.8	1618	36.3	720.8	816.0	197	15	incom.	88.7	71.8	80.7	80.4

Mois et Saisons		LA TEMPERATURE										SUR LE SOL					
		SOL SABI					T°C. à l'heure G.M.T.					nu			gazonné		
		Maxima = M		Minima = m		E + K	E - K	7 H. (I)	13 H. (II)	18 H. (III)	M	m	M—m	M	m	M—m	
		Obs.	Moy. norm.	Obs.	Moy. norm.												
Decembre 1953	1-10	12.0	—	5.5	—	8.7	6.6	7.6	11.0	9.8	12.2	3.8	8.5	12.4	1.8	10.6	
	11-20	9.2	—	3.3	—	6.2	5.9	5.0	8.0	6.1	9.6	1.6	8.0	10.3	-0.4	10.7	
	21-31	3.5	—	0.8	—	2.2	4.5	2.4	3.9	2.9	5.9	0.2	5.7	6.7	-0.8	7.5	
	Mois	8.7	5.8	3.1	0.4	5.9	5.6	4.9	7.5	6.9	9.1	1.8	7.3	9.7	0.2	9.5	
Janvier 1954	1-10	-0.3	—	-6.2	—	-3.2	5.8	-3.4	-1.5	-2.1	-0.1	-6.4	6.3	0.5	-8.5	9.0	
	11-20	6.9	—	1.9	—	4.4	5.0	3.7	6.4	5.3	6.1	0.0	6.1	7.1	-0.7	7.8	
	21-31	1.2	—	-7.0	—	-2.9	8.3	-5.5	-1.5	-4.2	2.9	-7.5	10.4	3.3	-9.6	12.9	
	Mois	2.6	5.1	-3.9	-0.3	-0.6	6.4	-1.9	1.0	-0.4	2.9	-4.7	7.6	3.6	-6.4	10.0	
Fevrier	1-10	-2.2	—	-10.5	—	-1.8	0.8	-7.9	-2.4	-4.1	0.0	-11.3	11.3	0.3	-3.2	13.5	
	11-20	4.0	—	0.2	—	2.1	3.8	1.6	3.1	2.3	4.0	-0.7	4.7	6.2	-0.5	6.7	
	21-28	7.4	—	2.0	—	4.7	5.4	3.4	6.7	4.8	9.0	0.7	8.3	10.7	0.1	10.6	
	Mois	2.8	5.9	-2.8	-0.4	1.5	2.7	-1.3	2.1	0.7	4.0	-4.1	8.1	5.4	-4.9	10.3	
Hiver		4.7	5.6	-3.6	-0.1	2.3	4.9	-0.6	3.5	2.4	5.3	-7.0	12.3	6.2	-3.7	9.9	
Mars	1-10	7.2	—	1.5	—	4.4	5.7	3.5	7.1	5.3	9.4	0.2	9.2	11.5	-0.4	11.9	
	11-20	10.0	—	1.2	—	5.6	8.8	3.0	8.9	6.9	14.0	0.7	13.3	18.0	0.2	17.8	
	21-31	12.4	—	5.0	—	8.7	7.4	7.1	10.9	8.9	17.9	4.5	13.4	22.7	3.4	19.3	
	Mois	10.0	9.3	2.6	1.4	6.3	7.3	4.6	9.0	7.1	13.9	1.9	12.0	17.6	1.1	16.5	
Avril	1-10	15.5	—	2.5	—	6.5	8.0	4.8	9.3	7.2	16.3	2.0	14.3	18.9	0.9	18.0	
	11-20	10.7	—	1.0	—	5.8	9.7	3.6	8.9	6.9	19.1	0.1	19.0	23.7	-1.8	25.5	
	21-30	13.1	—	0.9	—	7.0	12.2	4.3	12.6	10.7	24.3	0.8	23.5	29.1	-2.1	31.2	
	Mois	11.4	12.6	1.5	3.5	6.1	10.0	4.2	10.2	8.3	19.9	1.0	18.9	23.9	-1.0	24.9	
Mai	1-10	15.3	—	5.0	—	10.2	10.3	9.8	15.2	13.7	25.9	3.5	22.4	28.5	1.7	26.8	
	11-20	19.8	—	7.7	—	13.8	12.1	11.2	17.1	13.7	30.2	7.8	22.4	33.0	5.4	27.6	
	21-31	18.1	—	7.5	—	13.0	10.9	12.3	17.6	11.8	28.2	7.2	21.0	29.8	5.3	24.5	
	Mois	17.9	18.3	7.0	7.2	12.4	11.5	11.2	16.7	14.1	28.1	6.2	21.9	30.4	4.3	26.1	
Printemps		13.1	13.4	3.7	4.0	8.1	9.6	6.7	12.0	9.8	20.6	3.0	17.6	24.0	1.5	22.5	
Semestre		8.9	9.6	0.0	1.8	5.4	7.2	3.0	7.8	6.1	12.9	-2.0	14.9	15.1	-1.1	16.2	

Juin	1-10	14.8	21.9	17.2	13.8	18.5	17.8	13.5	19.6	17.7	14.7	15.0	17.4	14.5	14.4	14.5	12.9	12.9	13.0
	11-20	17.2	27.3	20.4	15.2	23.2	21.0	15.4	23.2	20.7	16.3	17.3	18.9	15.6	15.9	16.0	13.8	13.9	13.9
	21-30	15.9	23.3	18.2	15.7	21.0	19.2	15.3	20.7	19.2	17.6	17.7	19.2	17.2	17.0	17.0	15.2	15.2	15.2
	Mois	15.9	23.5	18.6	14.9	20.9	19.3	14.7	21.2	19.2	16.2	16.7	18.5	15.8	15.8	15.8	14.0	14.0	14.0
Juillet	1-10	14.8	22.7	18.2	14.8	20.0	17.9	13.3	20.4	18.7	15.2	16.4	17.6	15.6	16.6	15.7	14.5	14.6	14.6
	11-20	15.1	20.9	17.3	14.8	19.8	18.0	14.4	19.9	17.9	15.8	17.0	17.4	incomplet			14.9	14.9	13.9
	21-31	14.9	22.8	17.7	14.8	20.3	18.6	14.2	20.4	18.2	16.0	16.9	17.8	incomplet			15.0	15.1	15.0
	Mois	14.2	22.2	17.8	14.8	20.1	18.2	14.0	20.2	18.6	15.7	16.8	17.6	incomplet			14.8	14.9	14.5
Août	1-10	16.7	25.3	19.8	16.4	23.1	20.9	15.9	23.1	21.5	17.6	18.6	19.9	17.9	17.6	17.1	15.7	15.8	15.8
	11-20	14.3	19.1	16.7	13.9	18.1	17.3	13.6	18.2	17.0	15.2	16.1	16.8	16.1	15.7	15.9	15.6	15.5	15.6
	21-31	14.1	23.2	18.1	13.9	21.1	18.7	13.5	20.5	18.5	15.3	16.3	17.6	15.7	15.6	15.9	15.0	15.0	15.0
	Mois	15.0	22.6	18.2	14.7	20.8	19.6	14.3	20.6	19.0	16.0	17.0	18.1	16.5	16.3	16.3	15.4	15.4	15.4
Été		15.0	22.8	18.2	14.7	20.8	19.0	14.3	20.7	18.9	16.0	16.8	18.1	—			14.7	14.7	14.6
Sept.	1-10	16.2	26.0	19.2	15.5	22.5	20.1	14.8	22.2	19.7	17.2	18.2	19.2	16.7	17.4	17.6	15.9	16.0	16.0
	11-20	12.7	18.8	15.7	12.6	17.8	15.7	12.2	17.4	15.0	14.3	15.3	15.1	15.3	15.7	14.8	15.4	15.4	15.3
	21-30	9.2	15.0	11.2	9.4	13.7	12.1	8.9	13.6	11.7	11.7	12.6	12.8	13.3	13.1	13.0	14.2	14.1	14.0
	Mois	12.1	19.9	15.4	12.5	18.0	16.0	12.0	17.7	15.5	14.4	15.4	15.7	15.1	15.4	15.2	15.1	15.1	15.1
Octobre	1-10	10.6	15.3	11.8	10.5	14.1	12.5	10.1	14.0	12.4	11.9	12.2	12.6	12.5	13.0	12.5	13.2	13.1	13.1
	11-20	10.3	18.1	12.5	10.2	15.5	14.0	9.5	15.2	12.6	11.3	11.9	12.7	11.9	11.8	12.0	12.4	12.5	12.4
	21-31	9.3	14.0	10.2	9.5	12.8	11.0	9.1	12.7	10.8	10.7	11.5	11.6	11.8	11.7	11.8	12.3	12.4	12.3
	Mois	10.0	15.7	11.5	10.0	14.1	12.1	9.6	13.9	11.9	11.3	11.9	12.3	12.1	12.2	12.1	12.6	12.6	12.6
Nov.	1-10	5.6	12.7	7.4	6.4	11.5	8.5	6.0	11.3	8.2	8.5	8.9	9.5	10.0	9.8	9.9	4.3	11.3	11.2
	11-20	3.7	8.6	5.6	4.1	7.6	6.3	4.0	7.3	6.0	6.1	6.5	6.6	7.8	7.7	7.7	10.0	9.9	9.9
	21-30	5.3	8.7	6.1	5.2	7.2	6.1	5.0	6.9	5.9	5.8	6.1	6.4	6.5	6.6	6.7	8.4	8.4	8.3
	Mois	4.9	10.0	6.4	5.2	8.8	6.9	5.0	8.5	6.7	6.8	7.1	7.5	8.4	8.4	8.4	9.9	9.9	9.8
Automne		9.0	15.2	11.1	9.2	13.6	11.7	8.9	13.4	11.4	10.8	11.5	11.8	11.9	12.0	11.9	12.5	12.5	12.5
Semestre		12.0	19.0	14.6	12.0	17.1	15.4	11.6	17.0	15.2	13.2	14.2	14.9	—			13.6	13.6	13.6
Année		8.2	14.8	10.4	8.0	12.9	11.0	7.8	12.9	11.2	9.4	10.1	10.8	—			10.2	10.2	10.2

ANNEE 1954

PHENOLOGIE DE GEMBOUX

DATES DE FLORAISONS

NOM DES PLANTES

5.III	<i>Galanthus nivalis</i>
9.III	<i>Corylus Avellana</i>
10.III	<i>Viola odorata</i>
10.III	<i>Crocus vernus</i>
10.III	<i>Tussilago farfara</i>
12.III	<i>Daphne Mezereum</i>
20.III	<i>Arabis alpina</i>
20.III	<i>Narcissus Pseudo-Narcissus</i> (dans bois)
22.III	<i>Alnus glutinosa</i>
22.III	<i>Cornus mas</i>
27.III	<i>Narcissus Pseudo-Narcissus</i> (hors-bois)
28.III	<i>Prunus spinosa</i>
28.III	<i>Glechoma hederacea</i>
30.III	<i>Jasminum nudiflorum</i>
30.III	<i>Forsythia vulgaris</i>
3.IV	<i>Bergenia crocosmiaeflora</i>
3.IV	<i>Veronica hederaefolia</i>
5.IV	<i>Ficaria ranunculoïdes</i>
5.IV	<i>Populus robusta</i>
5.IV	<i>Primula veris</i>
5.IV	<i>Stellaria media</i>
6.IV	<i>Ribes sanguineum</i>
9.IV	<i>Bellis perennis</i>
14.IV	<i>Magnolia stellata</i>
21.IV	<i>Taraxacum Dens-Leonis</i>
21.IV	<i>Ribes Uva-Crispa</i>
1.V	<i>Lamium album</i>
1.V	<i>Cerastium tomentosum</i>
1.V	<i>Kerria japonica</i>
1.V	<i>Cerasus japonica</i>
8.V	<i>Syringa vulgaris</i>
8.V	<i>Crataegus Oxyacantha</i>
8.V	<i>Aesculus Hippocastanum</i>
8.V	<i>Sarothammus scoparius</i>
8.V	<i>Ilex Aquifolium</i>
11.V	<i>Sorbus Aucuparia</i>
11.V	<i>Geranium sanguineum</i>
22.V	<i>Cytisus Laburnum</i>

DATES DE FLORAISONS

NOM DES PLANTES

22.V	<i>Lupinus hybridus</i>
27.V	<i>Leucanthemum maximum</i>
27.V	<i>Convolvulus sepium</i>
29.V	<i>Tamarix parviflora</i>
15.VI	<i>Campanula rotundifolia</i>
16.VI	<i>Melilotus arvensis</i>
16.VI	<i>Melilotus alba</i>
20.VI	<i>Epilobium spicatum</i>
20.VI	<i>Ligustrum vulgare</i>
11.VII	<i>Centaurea Cyanus</i>
5.VIII	<i>Tanacetum vulgare</i>
16.VIII	<i>Hydrangea vulgaris</i> (paniculata)
11.XI	<i>Taraxacum Dens-Leonis</i>
25.XI	<i>Primula veris</i>
26.XI	<i>Senecio vulgaris</i>
26.XI	<i>Jasminum nudiflorum</i>
29.XI	<i>Glechoma hederacea</i>
30.XI	<i>Capsella Bursa — pastoris</i>
1.XII	<i>Matricaria Chamomilla</i>
2.XII	<i>Bellis perennis</i> toujours en fleurs
2.XII	il y a quelques fleurs de <i>Ranunculus bulbosus</i> .

DATES DE FEUILLAISONS

NOM DES PLANTES

24.III	<i>Salix Babylonica</i>
5.IV	<i>Aesculus Hippocastanum</i>
9.IV	<i>Ribes rubrum</i>
10.IV	<i>Crataegus Oxyacantha</i>
14.IV	<i>Syringa vulgaris</i>
21.IV	<i>Ribes Uva-Crispa</i> .

DATES DE DEFEUILLAISONS

NOM DES PLANTES

28.X	<i>Sorbus Aucuparia</i>
28.X	<i>Populus robusta</i>
29.X	<i>Aesculus Hippocastanum</i>
11.XI	<i>Cerasus japonica</i> .
10.III	Commencement des travaux printaniers.
20.III	Mise des bêtes laitières en prairie.
2.XII	Travaux d'automne toujours en cours.

Livres reçus

Zwei verbundene : Kalium und Magnesium. — Deutsche Waren — Vertriebsgesellschaft m.b.h. — Berlin W. 8, Friedrichstrasse, 61.

Dans cet ouvrage d'environ 200 pages, onze spécialistes allemands, néerlandais et tchèque examinent la question de la fumure en potassium et magnésium.

Les points suivants y sont traités :

- La biologie du sol et l'alimentation de la plante.
- Que provoque le manque de magnésium ?
- La teneur en éléments nutritifs des principales plantes agricoles et horticoles.
- La question de la fumure magnésienne en culture maraîchère.
- L'influence du potassium dans l'alimentation des animaux et de l'homme.
- La relation entre la fumure potassique et les besoins en eau de l'orge.
- La carence du magnésium en culture fruitière.
- Le rapport potasse-azote le plus favorable.
- Contribution à la question de l'influence de la teneur en éléments biogéniques des sols cultivés par la fumure minérale et le bilan des éléments nutritifs basés sur les recherches méthodiques.
- Relation entre l'action de la chaux, des engrais magnésiens et azotés sur un sol sablonneux très acide.
- Comment fumer un champ en potasse et en acide phosphorique ?
- La signification du magnésium pour la croissance des plantes et la teneur du sol en magnésium.

Des index bibliographiques renvoient le lecteur aux sources d'information.

Une quarantaine de figures, de photographies et de diagrammes sont insérés dans le texte.

Quatre planches coloriées représentent les symptômes de carence en magnésium sur les feuilles de cerisiers, poiriers, pruniers et pommiers.

G. D.

*
**

ERHART, H., PIAS, J. et LENEUF, N., *Etude Pédologique du Bassin Alluvionnaire du Logone-Chari.* — Publication de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer, Ed. Larose, Paris 1954, 234 pp., trois cartes pédologiques et nombreuses photographies.

Le territoire prospecté par les AA. appartient au Territoire du Tchad. Il concerne plus spécialement les dépôts des vastes plaines alluviales des deux grands fleuves le Logone et le Chari appartenant au bassin fermé du lac Tchad.

Pour les différentes régions explorées, les AA. ont décrit tout d'abord les principaux facteurs pédogénétiques : géologie, climat, végétation. Ils ont ensuite fixé et cartographié les types pédologiques. Ils ont enfin tiré les conclusions agronomiques en précisant les vocations culturales des sols.

Ce travail qui s'accompagne de nombreuses analyses chimiques très détaillées et de l'étude du matériel argileux montre toute l'importance et l'amplitude de la tâche entreprise par la France en Afrique Equatoriale Française.

G. M.

*
**

KNIGHT, R. L. — *Abstract bibliography of cotton breeding and genetics 1900-1950*. Technical communication 17 of the Commonwealth Bureau of Plant Breeding and Genetics, Cambridge, pp. 256 (Février 1955) 21/—.

L'auteur est génétiste et sélectionneur en chef de la Division de Recherches du Ministère de l'Agriculture du Soudan ; il a eu l'occasion, au cours des nombreuses années qu'il a consacrées à l'amélioration de la culture du coton, de réunir une abondante documentation bibliographique, probablement une des plus complètes du genre.

Dans son ouvrage, le Dr KNIGHT cite les principaux travaux scientifiques publiés sur la question de 1900 à 1950 ; il donne près de 1.200 références, dont un millier environ sont suivies d'un résumé succinct.

Ce livre apportera, sans aucun doute, une aide précieuse aux spécialistes de la question cotonnière ; il constitue en outre un document du plus haut intérêt pour tous ceux qui s'intéressent à la Génétique et à son application à la résolution des nombreux problèmes que pose l'amélioration des plantes.

La Bibliographie est complétée par trois appendices qui donnent une liste complète des gènes reconnus jusqu'ici dans le genre *Gossypium*, l'identité des génomes et les différents types de linkage observés.

R. W.

Encyclopédie Agronomique et Vétérinaire

MANUEL DE L'AMELIORATION DES PLANTES

par V. LATHOUWERS

Docteur ès Sciences, Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat à Gembloux.

Tome I: L'Amélioration générale

En réimpression

Tome II: L'Amélioration du Froment, 580 pp., 66 fig.

150,00

LE CHENE PEDONCULE ET LE CHENE ROUVRE

Leur culture en Belgique

par A. POSKIN

Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.

1 vol. 283 pp., 54 fig., 1 carte en couleurs,

br., 65,00

PHYTOTECHNIE DE L'HEVEA — (HEVEA BRASILIENSIS)

Botanique — Amélioration — Culture et Exploitation

par M. FERRAND

*Ingénieur Agronome (A. I. Gx), Chef de la Division de l'Hevea de l'INEAC
Directeur du Centre de Recherches de l'Inst. de Rech. pour les Huiles de Palme
et Oléagineux de Paris.*

1 vol. 432 pp., 67 fig., 2 hors-textes

110,00

ELEMENTS DE MICROBIOLOGIE GENERALE ET AGRICOLE

par G. VERPLANCKE

Chargé de cours à l'Université de Gand et à l'Institut agronomique de Gand.

1 vol. in-8°, 328 pp., 105 fig.

Epuisé

LES BOVINS

par J. LAHAYE et J. MARCQ

Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem. Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.

Tome I: La Connaissance du Bétail, 1 vol. in-8°, 208 pp., 166 fig.
130,00

Tome II: Vol. 1. Ethnographie. Hygiène. Reproduction. En réimpr.
Vol. 2. Alimentation, 1 vol. in-8°, 644 pp., 20 fig. En réimpr.

TRAITE DE PATHOLOGIE MEDICALE DES ANIMAUX DOMESTIQUES

par F. LIEGEOIS

Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem.

1 vol. XXVI - 926 pp., 3^e édition, 1949.

Sous presse

LA FERTILISATION DU SOL ET LES ENGRAIS

par R. MEURICE

Docteur en Sciences,

Directeur de la Station de Chimie et de Physique Agricoles de l'Etat, à Gembloux.

1 vol. in-8° ill., 280 pp.

Epuisé

TRAITE D'ECONOMIE RURALE

par A. DELOS

Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.

Tome I: La Terre, 1 vol. in-8°, 280 pp., 25 fig.,

br. 50,00

Tome II: Le Capital d'exploitation, 1 vol. in-8°, 372 pp.,

Epuisé

PRECIS DE DROIT VETERINAIRE

par F. LIEGEOIS

Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem.

1 vol. in-8°, 332 pp.,

br. 60,00

TRAITE COMPLET D'AVICULTURE

par J. LAHAYE, J. MARCQ et E. CORDIEZ

Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem. *Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.*

1 vol. in-8°, 660 pp., 219 fig., 9 hors-textes en quadrichromie, br. 375,00

LE CHEVAL

par J. MARCQ et J. LAHAYE

Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux. *Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem.*

Tome I: Extérieur du Cheval, 304 pp., 193 fig.

br. 175,00

Tome II: Zootechnie spéciale. Alimentation. Hygiène. Amélioration.

Sous presse

LA CANNE A SUCRE AUX ANTILLES FRANÇAISES

par J. GUILLAUME

Ingénieur, Chef de Fabrication aux Antilles.

1 vol. in-8°, IX-215 pp., fig.

br. 56,00

ELEMENTS DE PATHOLOGIE VEGETALE

appliquée à la Phytotechnie

par Em. MARCHAL

Professeur émérite à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.

P. MANIL et R. VANDERWALLE

Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux. *Chargé de cours à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.*

1 vol. in-8°, XXIV-540 pp., 205 fig.

br. 290,00

ELEMENTS DE PHYSIOLOGIE VEGETALE

Les bases scientifiques de la Phytotechnie

par Em. MARCHAL

Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.

1 vol. in-8°, XVI - 344 pp., 131 fig.

br. 225,00

TRAITE DE SYLVICULTURE

par A. POSKIN

Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.

1 vol. in-8°, 532 pp., 166 fig.

br. 260,00

A TRAVERS LES FORETS DE PINSAPO D'ANDALOUSIE

Etude de Dendrologie, de Sylviculture et d'Entomologie forestière.

par A. BARBEY

Expert forestier, Docteur ès-Sciences.

1 vol. in-8°, 110 pp., 41 pl.,

br. 40,00